



## **Forgasning af halmpiller i Totrinsforgasser, 2001**

Forundersøgelser. Forsøgsforløb. Resultater

**Bentzen, Jens Dall; Henriksen, Ulrik Birk; Hindsgaul, Claus; Ahrenfeldt, Jesper; Gøbel, Benny; Sørensen, Lasse Holst**

*Publication date:*  
2003

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Bentzen, J. D., Henriksen, U. B., Hindsgaul, C., Ahrenfeldt, J., Gøbel, B., & Sørensen, L. H. (2003). *Forgasning af halmpiller i Totrinsforgasser, 2001: Forundersøgelser. Forsøgsforløb. Resultater*. DTU Mekanik. MEK-ET-ES No. 2003-02

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

April 2003  
MEK-ET-ES 2003-02

## Forgasning af halmpiller i Totrinsforgasser, 2001

*-Forundersøgelser*  
*-Forsøgsforløb*  
*-Resultater*



Institut for  
Mekanik,  
Energi og  
Konstruktion

Jens Dall Bentzen, COWI  
Ulrik Henriksen  
Claus Hindsgaul  
Jesper Ahrenfeldt  
Benny Gøbel  
Lasse Holst Sørensen, Reatech

## Forgasning af halmpiller, 2001

*-Forundersøgelser*

*-Forsøgsforløb*

*-Resultater*

Jens Dall Bentzen, COWI  
Ulrik Henriksen  
Claus Hindsgaul  
Jesper Ahrenfeldt  
Benny Gøbel  
Lasse Holst Sørensen, Reatech

April 2003

Institut for Mekanik, Energi og Konstruktion  
Bygning 403, DTU  
2800 Lyngby  
Tlf. 45 93 27 11

ISBN 87-7475-295-2

# 1 Forord

På Institut for Mekanik, Energi og Konstruktion (tidligere Institut for Energiteknik), DTU har der gennem en årrække været arbejdet med termisk konvertering af biomasse til gas. Formålet har været at anvende denne gas til energiformål, primært til produktion af kraft-varme.

I dette projekt er de forgasningsmæssige egenskaber af halmpiller blevet undersøgt og søgt forbedret gennem tilsætning af antislaggemiddel til brændslet. Et forsøg med en 100 kW pilotforgasser med halmpiller blev gennemført.

Projektet er bevilget af EFP (Energi Forsknings-Programmet) og i denne rapport beskrives forundersøgelserne, forsøgsforløbet og resultaterne af forsøget med tottrinsforgasseren.

Resultaterne er publiceret internationalt. Se *[Ref. 1]*

DTU den 10. april 2003

Jens Dall Bentzen, COWI  
Ulrik Henriksen  
Claus Hindsgaul  
Jesper Ahrenfeldt  
Benny Gøbel  
Lasse Holst Sørensen, Reatech

## 2 Indholdsfortegnelse

1	FORORD .....	3
2	INDHOLDSFORTEGNELSE .....	4
3	INDLEDNING.....	5
4	RESUME.....	6
5	FORMÅL.....	7
6	FORUNDERSØGELSER.....	8
6.1	Undersøgelse af briket- og pillepressere.....	8
6.2	Forundersøgelser af antislaggemidler.....	9
6.3	Produktion af halmpiller til 100 kW forgasser .....	12
6.4	Produktion af halmpiller på Bioteknologisk Institut .....	13
6.5	Undersøgelser af de producerede piller .....	16
7	FORSØG MED 100 KW TOTRINSFORGASSEREN .....	18
7.2	Det planlagte forsøgsforløb .....	21
7.3	Forsøgsforløb.....	21
7.4	Driftsforhold under forsøget .....	23
7.5	Fugt- og askemålinger af halmpillerne .....	29
7.6	Foto's under forsøget .....	30
8	RESULTATER AF MÅLINGER UNDER FORSØGET .....	31
8.1	Partikelmålinger.....	31
8.2	Tjæreindhold.....	36
8.3	Analyse af askerne.....	38
9	KONKLUSION .....	41
10	REFERENCER .....	42
11	BILAG 44	
11.1	Bilag 1 Resultater fra TGA-forsøg .....	44
11.2	Bilag 2 Brændselsdata for halmen.....	46

### 3 Indledning

I denne rapport beskrives undersøgelserne vedrørende forgasning af halmpiller i en 100 kW tottrinsforgasser. Forgasningsforsøget blev gennemført på MEK, DTU i oktober 2001.

Gennem en årrække har der været arbejdet med termisk forgasning af halm.

Store fluidbed baserede anlæg er afprøvet med halm som brændsel, og det er vist at halm kan forgasses i sådanne anlæg. Dog produceres herved gas med et højt tjæreindhold, og gassen er derfor vanskelig at bruge til kraftvarme medmindre højtryksforgasning med tilkoblet højtemperaturfilter og gasturbineanlæg anvendes.

For mindre anlæg er forskellige forgassere baseret på fixedbed teknologi afprøvet på halm. Den eneste af disse forgasningsprocesser der gav tilfredsstillende resultater var tottrinsforgasseren på DTU. Her blev løst oprevet halm omsat til en gas der med succes blev anvendt som brændstof i en motor. Ved den anvendte forgasser, producerede en speciel pyrolyseenhed halmkoks med en briketagtig struktur, hvorved koksen var velegnet til forgasning. Imidlertid blev det vurderet at denne pyrolyseenhed var vanskelig at opskalere, og efter forsøgenes afslutning først i halvfemserne besluttedes at udvikle forgasningsteknologien til træmaterialer først. Denne udvikling har ført til en tottrinsforgasser der kan forgasse granulære træbaserede brændsler.

Sammenlignet med forgasning af træ, har forgasning af halm to væsentlige problemer. Det ene er, at strukturen af løs halm gør det yderst vanskeligt at håndtere i en fixedbedforgasser. Det andet problem er, at halm har et højt indhold af aske, hvilket medfører tilbøjelighed til slaggedannelse og sintring ved relativt lave temperature. Slaggedannelse og sintring resulterer i tilstopning af forgasningsreaktoren.

Det må på nuværende tidspunkt vurderes, at forgasning af løst oprevet halm i fixedbedbaseret teknologi kræver en stor teknologisk udviklingsindsats. Det vil kræve en langt mindre indsats at tilpasse eksisterende forgassere til at forgasse halm på briket- eller pilleform.

Det blev derfor besluttet at prøve at producere halmpiller eller briketter, med tilsat antislaggemiddel, og forgasse dette brændsel i den eksisterende 100 kW tottrinsforgasser på DTU.

Denne forsøgsforgasser blev bygget i 1995 med en effekt på 100 kW (termisk) på DTU. Frem til 2000 blev der kørt en række forsøg på denne 100 kW tottrinsforgasser [Ref 4]. Endvidere er forgasseren blevet ombygget og optimeret mht energiforhold, tjæreindhold og gasrensning [Ref 6] og [Ref 1]. Tottrinsforgasningsprocessen var herefter eftervist med træ som brændsel.

## 4 Resume

Halmpiller blev forgasset i 100 kW fixed bed forgasseren på MEK, DTU. For at undgå slaggedannelse og for at holde en høj reaktivitet blev en blanding af fosforsyre, brændt kalk, melasse og vand blandet og tilsat halmen før pelletering.

Forgasseren kørte kontinuert i over 50 timer som planlagt. Adskillige tjære og partikelmålinger blev foretaget under forsøget.

Halmasken agglomererede ikke under forsøget og det sneglebaserede aske-udmader-system kørte uden problemer forsøget igennem.

Tjæreindholdet blev målt ved SPA (Solid-Phase Adsorption) og ved ”Petersen metoden” og begge målemetoder viste at tjæreindholdet i gassen var ekstremt lavt.

Partikelindholdet var mellem 1000-2000 mg/Nm<sup>3</sup>, og de fleste partikler var salte (KCl and NH<sub>4</sub>Cl ).

Indholdet af uomsat kulstof i asken faldt igennem forsøget fra omkring 60% af asken i starten til under 20% i slutningen af forsøget.

## **5 Formål**

Formålet med dette projekt er at vise om det er muligt at anvende DTU tottrinsforgasseren (100 kW anlægget) til at forgasse halm.

Denne forgasser er udviklet på DTU til at forgasse granulært træbaseret brændset.

For at halm kan anvendes i denne forgasser skal halmen først tilvirkes dels ved tilsætning af antislaggemiddel og dels ved at blive briketteret/ pilleteret.

Formålet er således at finde en anvendelig pilleterings- eller briketteringsmåde der giver briketter/piller med de rette egenskaber. Tilsvarende skal der findes et anvendeligt antislaggemiddel.

Herefter skal der køres forsøg med disse halm piller/briketter i ca. 100 timer og efterfølgende vil resultaterne samt analyser af restprodukter mm. vise om dette er en farbar vej for anvendelse af halm til decentral kraftvarme.



## 6 Forundersøgelser

### 6.1 Undersøgelse af briket- og pillepressere

For at forgasse halm i 100kW forgasseren skulle der benyttes halm piller eller halmbriketter, med antislaggemiddel tilsat. Da der skal anvendes ca. 20 kg brændsel/time skulle der produceres ca. 2 tons piller eller briketter for at have brændsel nok til et forsøg på op til 100 timer.

100 kW forgasseren havde tidligere forgasset såvel træpiller og briketter. Erfaringerne med briketter var særdeles gode. Der var benyttet briketter hårdt pressede af typen "SGF", [Ref. 2] og [Ref. 3].

Forsøget med de benyttede træpiller gik ikke godt idet tryktabet over koksbedden voksede ukontrollerbart. Dette skyldes formentlig at pillerne var løst pressede og blev til smuld under tørring- og pyrolyseprocessen [Ref. 4].

Der blev derfor lavet en grundig undersøgelse af hvem der kunne producere ca. 2 tons halm piller eller briketter. Kravet til pillerne/briketterne var at de skulle være hårde således at der ikke blev dannet en masse smuld under tørring- og pyrolysen.

Såvel danske som udenlandske producenter af pille- og briketmaskiner blev kontaktet. Herunder ses en oversigt over de muligheder der var mest relevante.

<i>Fabrikat</i>	<i>Typiske brændsler</i>	<i>Metode og størrelse</i>	<i>Tilbud</i>
RUF (Tyskland)  Dansk forhandler: Ingeniørfirmaet ALMAS Egeskovvej 5 2665 Vallensbæk.	Briketter.  Har lavet briketter af over 30 forskellige materialer herunder halm.	Presser med stempel.  Længde af briket 40-110 mm. Diameter 80 mm eller firkantet.	Test af 25 kg halm uden beregning.  2 tons kan blive presset i Tyskland.  Alternativt kan en model RB330 lejes for DM 1.500 pr. uge + transport.
Nordan Kontakt: Poul Jensen	Træbriketter.	Hydrauliske presser	Gratis test af 100 kg forsnittet halm.  Herefter produktion hvor faktiske håndværkerudgifter bliver dækket.
CFN maskinfabrik Kontakt: Henning Jensen	Træbriketter. Har tidligere lavet briket pressere til snittet halm.	Stempel med krumtap. Der laves briket streng, som brækker af.	Har presse på fabrikken til prøver.  Kan lave prøvepres og kan også levere til større forsøg. Skal have dækket håndværksudgifter

Spout Matador Kontakt: Lars Block	Træpiller fra savsmuld. Foderpiller mv.	Pillepresse med matrise. Tilsætning af damp og evt. bindemiddel. 6-12 mm piller.	Biotechnologisk Institut har to pillemaskiner til forsøg.
Biotechnologisk Institut Kontakt: Jørgen Busk			Teknologisk Institut skal lave forsøg med forbrænding af halmpiller og benytter pillemaskinerne.

### **6.1.1 Undersøgelser af prøvebriketter**

Såvel RUF, Nordan og CFN fremsendte prøvebriketter. Disse briketter var forskellige i facon (runde, firkantede), men de var alle lavet ved at et stempel havde presset materialet kompakt. En "lag-delning" af materialet var tydelig at se på briketterne og de var relativt nemme at brække over. Når briketterne brækkede faldt der meget smuld af.

Disse briketter var meget forskellige fra de SGF-briketter der var brugt med succes på 100 kW forgasseren tidligere. Disse var blevet produceret efter et andet princip hvor en skrue havde presset brændslet gennem en indsnævring. Materialet tilføres kontinuerligt så der er ikke en lagdeling i briketten, hvilket gør at den ikke brækker nemt. Herudover giver dette princip en meget hård brikette.

Hvis der skulle benyttes halm-briketter skulle de derfor helst være produceret på en skruemaskine. Det blev derfor forsøgt at finde en brikette producent, og bl.a. andet Nordan blev kontaktet, men de ønskede ikke at benytte halm i deres maskine idet det ville give for meget slid.

### **6.1.2 Valg: Halmpiller**

Det blev derfor besluttet at indgå samarbejde med Teknologisk Institut (Lars Nikolaisen) og Biotechnologisk Institut (Jørgen Busk) som skulle til at producere i alt 12 forskellige typer piller til forbrændingsforsøg. De tolv forbrændingsforsøg er afrapporteret i [Ref. 5]. Herudover blev der på DTU lavet TGA forgasningsforsøg, med de tolv piller. Resultaterne heraf ses i Bilag 1.

Teknologisk Institut havde udvalgt hvede-halm i Sønderjylland og indgået aftale med ALFAX omkring tørring og pelletering af halmen. Data omkring halmen ses i Bilag 2. Aftalen med ALFAX blev derfor udvidet med yderligere 2 tons halm til dette forgasningsprojekt.

## **6.2 Forundersøgelser af antislaggemidler**

Der blev lavet en række undersøgelser for at det rigtige antislaggemiddel kunne udvælges til pillerne. Kravene til antislaggemidlet var at

1. Asken ikke sintrer under forgasning (800-900°C)
2. Omsætningen (reaktiviteten) af brændslet ikke bliver langsom under forgasning
3. Brændslet ikke er korrosivt overfor materialerne i forgasseren.

Der blev foretaget undersøgelser af to typer af antislaggemiddel:

1. Kalk-blanding
2. Fosfor-kalk blanding

For hver undersøgelse var fremgangsmåden:

1. Halmpiller fra ALFAX neddeles i morter
2. Der tilsættes antislaggemiddel, som blandes godt op i halmen.
3. Der laves to piller på ca. 5 g ved presning til 16 tons.
4. Pille pyrolyseres ved 600°C.
5. Pille forgasses. Typisk ved 850°C i vanddamp atmosfære; 1,5 kg vanddamp/time
6. Vægttab som funktion af tiden registreres og reaktiviteten beregnes (% omsætning/min)
7. Askens hårdhed bestemmes (0 = blød; 3 = hård)
8. Evt. yderligere undersøgelser af asken i mikroskop.



Figur 6.1. Neddeling af piller



Figur 6.2. Blanding af antislaggemiddel



Figur 6.3. Færdig pille efter presning



Figur 6.4 Tre piller efter pyrolyse

### 6.2.1 Forsøg med kalk-melasse blanding

Kalk eller dolomit er almindelig kendt som et velegnet antislaggemiddel. De første indledende forsøg blev derfor udført med brændt kalk ( $\text{CaO}$ ) som det aktive middel. Herudover blev der tilsat melasse, som hovedsageligt har funktion som bindemiddel.

Som indledende forsøg blev der på DTU kørt TGA-forsøg [Ref. 7], med piller af det udvalgte halm og halmpiller med tilsat kalk og melasse.

De indledende forsøg viste at halm-asken blev meget hård både med og uden tilsat kalk som antislaggemiddel. Halmasken var altså stærkt sintrende og det tilsatte antislaggemiddel havde tilsyneladende ingen effekt. Resultaterne af forsøgene ses i bilag 1. (Fil no. 576-577).

Et nærmere studie af halmaskens sammensætning (se bilag 2) viste at denne afveg meget fra ”normal” halm: For det første var askeprocenten meget høj (8,5%), og herudover var andelen af silicium i asken meget høj: 55%. Da kalk tilsætning benyttes til at lave forbindelser med silicium der har højere smeltepunkter end kaliumsilikat skal der til denne halm benyttes ekstremt meget kalk for at der opnås en effekt.

I stedet blev der valgt en anden strategi for at undgå sintring. Der skulle tilsættes fosfor som vil danne forbindelse med kalium, hvorved kaliumsilikatdannelse undgås.

### **6.2.2 Forsøg med fosfor-blanding**

Fosfor skal tilsættes i en mængde og på en måde så det fordeles bedst muligt i halmen. Derfor blev der lavet en kalkopløsning hvortil der blev tilsat fosforsyre. Denne opløsning blev betegnet CAP [Ref. 8], og pH-værdien heraf var over 2. Udover CAP blev der også tilsat lidt kalk-melasse blanding som hovedsageligt benyttes som bindemiddel.

Der blev herefter lavet piller med tre forskellige mængder af CAP iblandet. Der blev lavet TGA forsøg ved 850°C i ren vanddamp og i vanddamp/CO<sub>2</sub> atmosfære. Tilsætning af CAP havde en meget tydelig effekt. Asken fra tre piller havde mindre sintring, hvor pillen med mest CAP tilsat var helt uden sintring.

Til gengæld var reaktiviteten faldet til ca. det halve efter tilsætning af CAP. Der var ikke synlig korrosion af TGA diglen efter forgasningsforsøgene. Resultaterne af TGA-forsøgene ses i bilag 1.

Det blev på denne baggrund valgt at lave 2 tons halmpiller med tilsætning af CAP og lidt kalk-sukkerblanding til forsøg med 100kW tottrinsforgasseren.

## 6.3 Produktion af halmpiller til 100 kW forgasser

Forud for produktionen af pillerne til forsøget med 100kW forgasseren var der lavet en undersøgelse af hvilken type brændsel: (piller/briketter) der skulle anvendes og der var udviklet et egnet antislaggemiddel.

Det udvalgte halm blev i vinteren 2000/2001 transporteret til ALFAX ved Kolding, hvor halmen blev snittet, tørret og pelleteret. Disse halmpiller skulle herefter løsnes op og tilsættes antislaggemiddel og igen pelleteres på Bioteknologisk Institut i Sdr. Stenderup. Pillerne blev lavet i uge 24, 2001.

### 6.3.1 Produktion af sukker-kalkopløsning.

Der var forinden blandingen indkøbt melasse og brændt kalk (CaO).

Der blev lavet 6 spande sukker-kalkopløsninger á 25 kg.

Hver spand indholdt:

CaO	2,52 kg
Vand	13,74 kg
Melasse	8,74 kg

Følgende fremgangsmåde blev benyttet:

Vand og kalk blev grundigt omrørt. For at undgå kemiske reaktioner med ilt var der låg på og der blev tilsat kvælstof ca. 3 liter/min. Der blev omrørt i ca. 10-15 min ved ca. 500 rpm. Se foto

Melassen blev langsomt tilsat under omrøring og efterfølgende omrøring i ca. 10-15 min.



Figur 6.5. Kalk-sukker blanding

### 6.3.2 Forsøg med dyser på DTU

For at fordele CAP og kalk sukkerblandingen bedst muligt over halmen før presningen skulle opløsningen sprøjtes over halmen mens den blev omrørt. Der blev derfor udført forsøg med forskellige metoder til at sprøjte kalk-sukkerblandingen.

Indledningsvist blev der lavet forsøg med en ukrudtsprøjte, men sukker-kalkblandingen kunne ikke presses gennem dysen. Herefter blev der lavet forsøg med en maler-sprøjtepistol idet blandingens konsistens var som maling. Forstøvningen med malerpistolen var fin. Se foto.

Efterfølgende blev mulighederne for forstøvning diskuteret med mb-teknik, som også anbefalede en dyse udformet efter samme princip som sprøjtemaleudstyr. Der blev indkøbt to stk. dyser af typen lechler 156.326.xx.11 til dosering og fordeling over halmblandingen. Princippet i dyserne er forstøvning med trykluft



Figur 6.6. Sprøjteforsøg på DTU

Der blev efterfølgende opbygget et doseringssystem med en slangepumpe til væske og tryklustruktionssystem til luft.

Systemets kapacitet og forstøvningsegenskaber blev afprøvet med vand og med sukker-kalkblanding. Kapaciteten af slangepumpen var ca. 90 liter/min for vand og sukker-kalkblandingen.

Forstøvningen var god ved et luft tryk på 4 bar og opad. Ved lavere lufttryk kunne der ses væskedråber.

## **6.4 Produktion af halmpiller på Bioteknologisk Institut**

Der blev lavet tre blandinger af halm med additiv som dagen efter skulle presses til piller.

Blanding 1: 750 kg halm

Vand-kalk-fosfor blanding blev lavet: 66 kg vand, 7,5 kg brændt kalk og 46 kg fosforsyre opgivet til ca 75%.

Sukker-kalk blanding nr. 2 (25 kg) blev tilsat 750 kg halm under omrøring. Herefter blev Vand-kalk-fosfor blandingen tilsat.

Der var bundfald i vand-kalk-fosfor blandingen og den overskydende mængde var 5,5 kg hvilket skyldtes at bundfaldet ikke var opløseligt.

P.g.a at kalken ikke var 100% opløst blev dyserne i doseringsapparatet tilstoppet, og slangerne på sprang af hvorved der kom fosfor-kalk blanding på gulvet. Det blev derfor besluttet at tilsætte væskerne direkte i blandesiloen, under konstant omrøring med langsom stråle. (Se figur 6.21)

Blanding 2: 600 kg halm

Vand-kalk-fosfor blanding blev lavet på en "Ultra Thurax" blander: 52 kg vand, 5,5 kg brændt kalk og 36 kg fosforsyre

Sukker-kalk blanding nr. 4 (20 kg) blev tilsat 600 kg halm under omrøring. Herefter blev Vand-kalk-fosfor blandingen tilsat. Denne gang var der ikke bundfald tilbage.

Blanding 3: 600 kg halm.

Vand-kalk-fosfor blanding blev lavet under langsom omrøring idet "Ultra Thurax" blanderen var i stykker. Blandingen bestod af 52 kg vand, 6,4 kg brændt kalk og 38 kg fosforsyre. Blandingen blev lavet om aftenen og kalken kunne da opløses langsomt over natten.

### **6.4.1 Pelletering**

Pelleringen af den første blanding gik meget dårligt. Der var meget smuld og matrisen blev udsat for stort tryk.

Herefter blev det forsøgt at tilsætte 5% melasse til en halmprøve i en lille blander. Prøven virkede fastere og det valgt at tilsætte 5% melasse til blandingerne.

Pelletering startedes og gik bedre, men efter nogen tid tilstoppedes matricen.

Herefter vælges at tilsætte 5% rapsolie for at få matrisen til at køre bedre. Ca. 400 kg fra blanding 1 og 200 kg fra blanding 2 tilsættes 35 kg melasse og 35 kg rapsolie.

Pillepresning går herefter godt med en produktion på 600 kg/time.

Herefter laves en blanding af 415 kg halm + 20 kg melasse + 20 kg rapsolie.

Til sidst afvejes sække fra blanding 3 (smuld) 320 kg + rest fra tromlen 155 kg. 24 kg melasse og 24 kg olie tilsættes og pelletteres.

Der blev således lavet knap 1500 kg piller anvendelige til forsøg, som alle har samme mængde antislaggemiddel tilsat. Nogle få 100 kg af pillerne var blevet produceret uden tilsætning af rapsolie og melasse, og disse blev holdt til reserve.

### Fotos fra fremstilling af piller



*Figur 6.7. Blanding af fosfor-kalk-vand*



*Figur 6.8. Blanding af fosfor-kalk-vand*



*Figur 6.9. Blanding af fosfor-kalk-vand på Ultra Thurax*



*Figur 6.10. Blanding af fosfor-kalk-vand på Ultra Thurax*



*Figur 6.11. Dosering af kalk-melasse-vand*



*Figur 6.12. Dosering af fosfor-kalk-vand*



*Figur 6.13. Blander*



*Figur 6.14. Dosering i blander*



*Figur 6.15 Neddeler af piller*





*Figur 6.16 Slange spruget pga. tilstopning i dyse*



*Figur 6.17 Kalk-melasse blanding før omrøring*



*Figur 6.18 Fosfor-kalk-vand kar tørt.*



*Figur 6.19 Big-bags*



*Figur 6.20 Halm med antislaggemiddel*



*Figur 6.21 Fosfor-kalk-vand hældes direkte i blanderen*



*Figur 6.22 Frasortering af smuld*



*Figur 6.23 Færdige piller*



*Figur 6.24 Fosfor blanding efter overnatning*





## 6.5 Undersøgelser af de producerede piller

De færdige piller skulle herefter undersøges. Der blev lavet følgende undersøgelser

1. TGA undersøgelse af sintring og reaktivitet
2. Fugt og askeprocent
3. Askeanalyse
4. Stabilitetstest
5. Mug-test

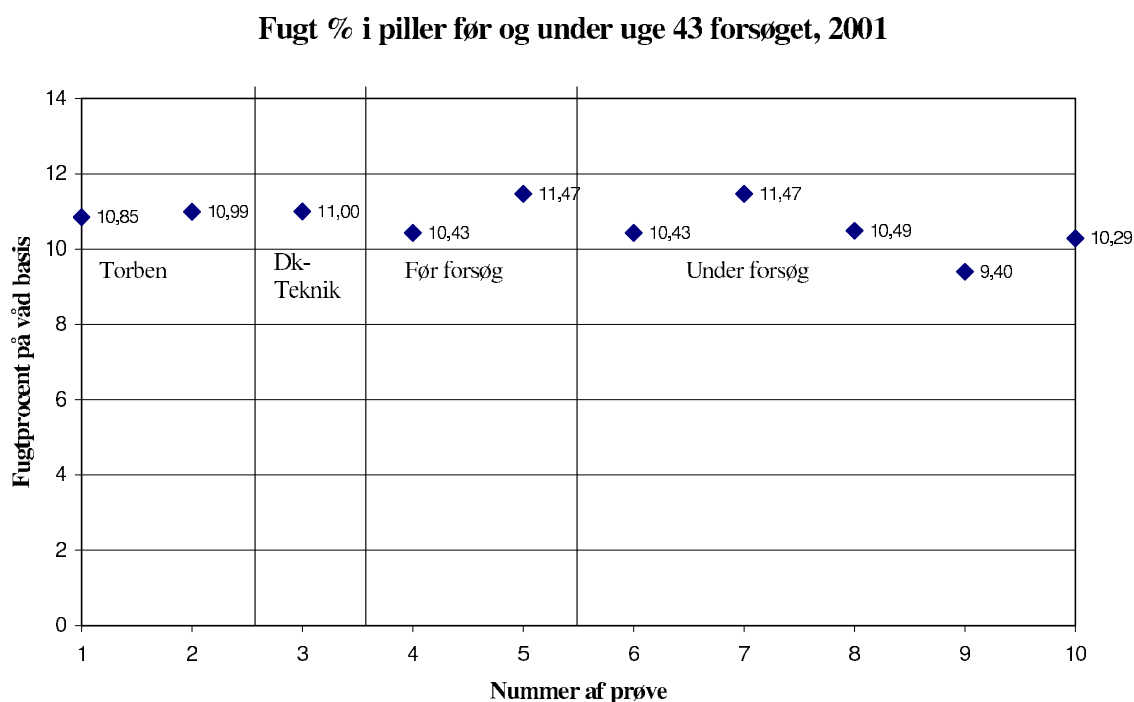
### 6.5.1 TGA forsøg med sintring og reaktivitet

Pillerne blev undersøgt mht. agglomering og reaktivitet. Der blev lavet TGA forsøg med vanddamp ved såvel 750°C, 800°C, 850°C, 900°C og 950°C. Efter forsøgene var asken ikke sintret (0-stjerner), selv ikke efter forsøget ved 950°C.

Omsætningshastigheden var langsommere end for pillerne uden antislaggemiddel, hvilket var i tråd med de piller der blev lavet i de indledende forsøg. Resultaterne ses i bilag 1. (Piller fra Jylland).

### 6.5.2 Fugt og askeprocent

Askeprocenten blev målt af DTU af to forskellige prøver til hhv. 10,90 og 10,88%. Fugtindholdet blev bestemt af DTU og dK-Teknik forud for forsøget og herudover blev der løbende under forsøget taget brændselsprøver ud, hvor fugtindholdet blev bestemt. Fugtindholdet i de 10 prøver lå mellem 9,40% og 11,47% med et middel på 10,68%.



Figur 6.33 Fugtprocent i piller før og under forsøget.

### 6.5.3 Askeanalyse

Askens kemiske sammensætning blev analyseret af Teknologisk Institut, og ses i bilag 2.

### 6.5.4 Stabilitets test

Pillerne virkede hårde og brækkede ikke umiddelbart ved et let tryk. For at undersøge om de let bliver opløst i vanddampatmosfære blev et par piller lagt i varmt vand. Såfremt pillerne ikke var stabile ville de hurtigt smuldre i varmt vand, men de skete ikke. Først efter 5-10 minutter var de blevet bløde.

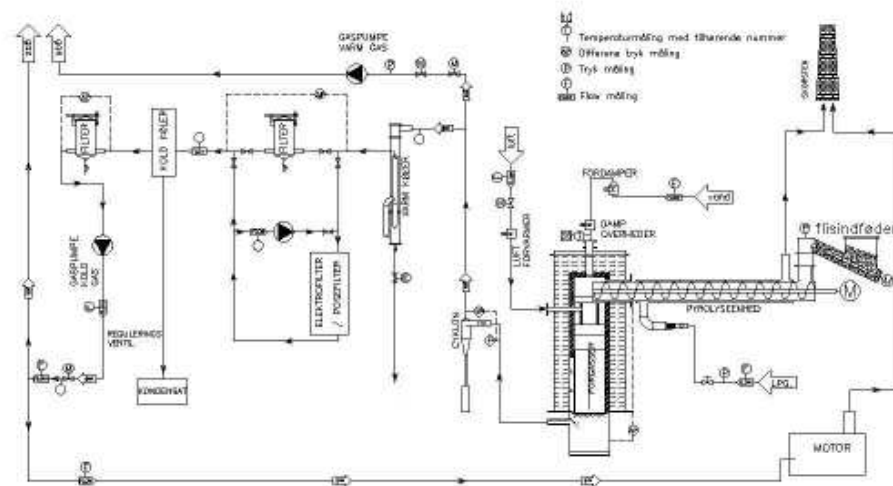
### 6.5.5 Mug-test

Pillerne blev leveret i big-bags i juni og skulle først bruges til forsøget i oktober. De stod først varmt i hallen på forsøgsområde 120. Efter en uges tid blev pillerne tilset. Der var kommet mug på de piller der fik luft ved åbningen. Dette skyldes dels at der var tilsat sukkerstof (Melasse) og vand under presningen.

Pillerne med mug på blev fjernet og de blev kørt på køl frem til forsøget.

## 7 Forsøg med 100 kW tottrinsforgasseren

100 kW forgasseren består af en pyrolysereaktor, en forgasningsreaktor (udmadningssystem blev etableret til halmpilleforsøget, se Figur 7.2), et gasrensningssystem og en gasmotor. Under opstart ledes gassen udenom gasrensningssystemet til en varm gaspumpe, se Figur 7.1. Til 100 kW forgasseren er der to forskellige indfødningsystemer: En snegl med tilhørende silo og en lockhopper. Se Figur 7.2.



Figur 7.1 Diagram over 100 kW tottrinsforgasningsanlægget (uden askeudmadning)

Idet halm har et højt askeindhold var det nødvendigt at etablere et askeudmadningssystem for at kunne køre et forsøg af længere varighed. Endvidere blev det valgt at benytte indfødningsystemet med lockhopper, for ikke at risikere at dosersneglen skulle nedbryde pillerne mekanisk, se Figur 7.2



Figur 7.2 Pilleindføder Lockhopper (t.v.) og aske udmader (t.h.).

Under halmforgasningsforsøget blev den producerede gas suget af "Varm gaspumpe" til en fakkel hvor den blev brændt af. Under forsøget blev der udtaget partikelprøver og lavet målinger af alkali- clor og tjæreindhold, således at et gasrensningssystem kan designes til halmforgasning.

### **7.1.1 Styring**

Forgasseren bliver styret således at trykket konstant er atmosfæretryk ved indfødningsen. Luft- og damp tilsætningen indstilledes manuelt. Tryktabet over koksbedden blev reguleret ved at risten blev aktiveret når tryktabet steg til over et givet setpunkt. Udmadningssystemet kørte hver gang risten blev aktiveret.

### **7.1.2 Dataopsamling**

I dataopsamlingen på tottrinsforgasseren opsamles temperatur og tryk hvert minut. Gassammensætningen blev målt med gasanalysatorer med separat dataopsamlingsprogram koblet på. De fem gasanalysatorer måler  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  og  $CH_4$ . Dataopsamlingen til analysatorerne opsamler disse data hvert minut og beregner  $N_2$ -indholdet som rest.

#### **Temperaturer**

##### **Pyrolysereaktor.**

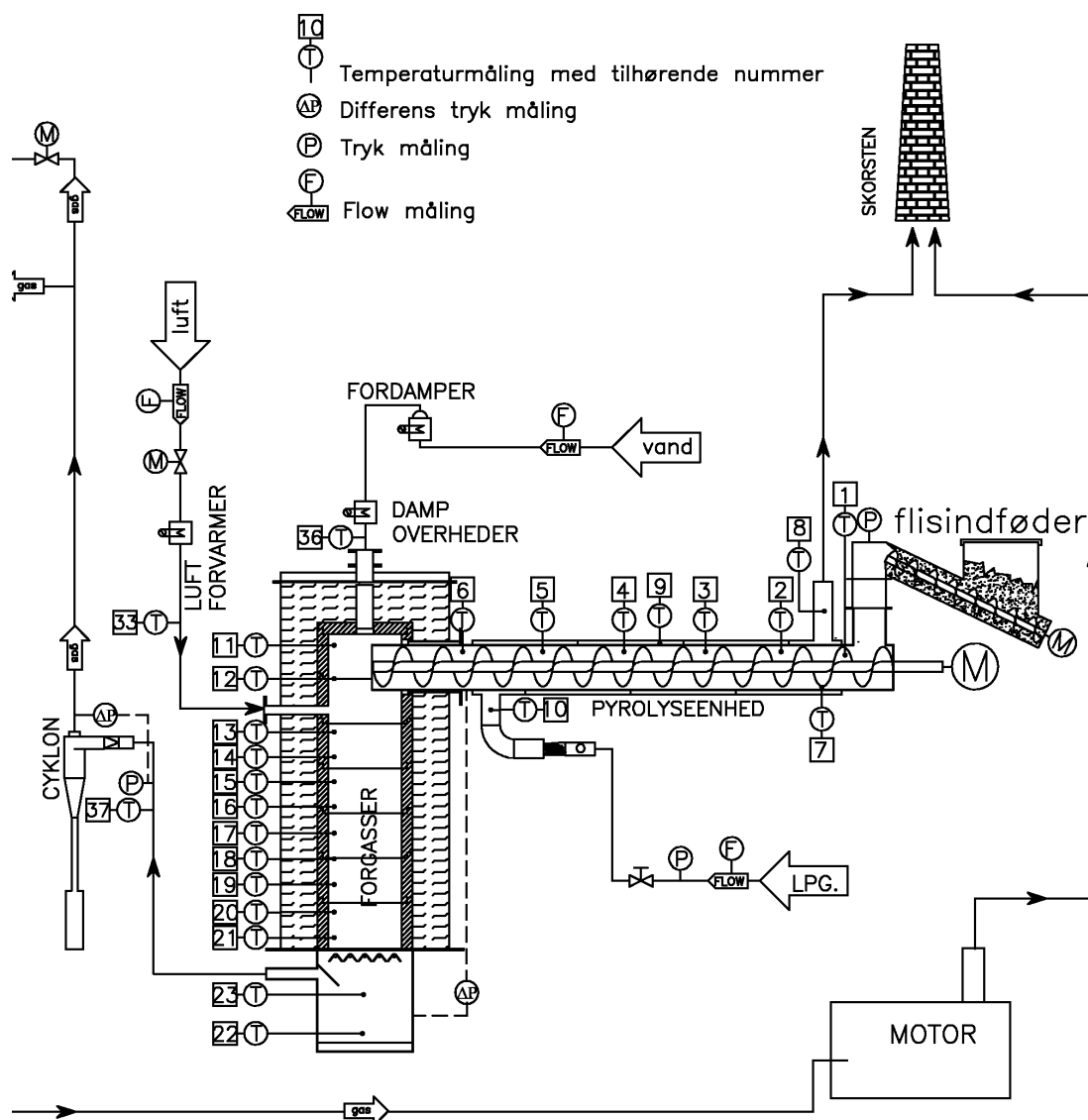
- T 1-6 I pyrolyserøret øverst (T1 ved indfødningsen, og T6 ved forgasser).
- T 8 Ved udløb af røggaskanal.
- T 9 Midt på røggaskanal.
- T 10 Ved indløb til røggaskanal.

##### **Forgasser.**

- T 11-12 Øverst i forgasser over indsnævring.
- T 13-14 I indsnævringen under lufttilsætningen.
- T 15-29 Temperaturfølerne yderst i de bevægelige sonder. Der er 6 cm. mellem sonderne.
- T 30 Temperaturen måles på risten. Føler placeret under mellemste risteelement.
- T 31-32 Temperatur i bunden af forgasser.
- T 33-35 Temperaturen af de tre luftindblæsninger.
- T 36 Temperaturen af overhovedet vanddamp.
- T37 Temperatur ved cyklon.

#### **Tryk (mmVS)**

- p\_b Differenstryk over koksbed.
- p\_i Trykket i indføderen.



Figur 7.3 Pyrolyse- og forgasningsenhed med angivelse af temperatur-, flow- og trykmålinger. (Anlæg er skitseret med flisindføder).

## 7.2 Det planlagte forsøgsforløb

Forsøget var planlagt til at vare fra mandag d. 22. oktober kl. 8 til onsdag d. 24 oktober kl. 18. Torsdag d. 25 var reservedag såfremt der skulle gå noget galt under forsøget så en måling måtte udsættes. Se Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Planlagt forsøgsforløb for halmpilleforsøg uge 43, 2001

<i>Aktion</i>	<i>Mandag</i>	<i>Tirsdag</i>	<i>Onsdag</i>	<i>Torsdag (reserve)</i>
<i>Styring og overvågning:</i> Erik Hansen Freddy Christensen Steen Nielsen	14-22  8-14, 22-6	14-22 6-14	14-22 6-14 22-6	14-22 6-14
<i>Indfødere:</i> Ejvind Larsen Morten Christensen Rasmus Glar Thomas Østergård	22-6 12-22	22-6 14-22 6-14	22-6  6-14 14-22	  6-14 14-18
<i>Partikelmåling</i> Claus Hindsgaul		1 stk. kaskade impactor 3 stk total partikel mængde	1 stk. kaskade impactor 3 stk total partikel mængde	
<i>Gasanalyse</i> Jesper Ahrenfeldt	Gasanalyse	Gasanalyse	Gasanalyse	Gasanalyse
<i>Styring og overvågning</i> <i>Fugt måling</i> <i>Tjæremåling</i> Jens Dall Bentzen	8-22 Fugtmåling af brændsel	9-17 5 x SPA-målinger Fugtmåling af brændsel	9-17 5 x SPA-målinger Fugtmåling af brændsel	9-18 Fugtmåling af brændsel
<i>Alkali-clor samt tjære målinger</i> Finn Pedersen TI			11-18 Alkali-clor samt tjære-partikel målinger	
<i>Drift af forgasser</i>  Vanddamp:brændsel 1:1 igennem hele forsøget	9-12 opvarmning. 12-20 opstart (maksimal brændselsmængde) 20-> Drift (100 kW)	Drift (100 kW)	Drift (100 kW)	Drift (100 kW)
<i>Gæster</i>		10.00 Wibron de Jung fra Delft Uni, Holland Radar måling. (Insa Tech)	Martin Fock. Dk- Teknik	

## 7.3 Forsøgsforløb

Forsøget forløb planmæssigt fra mandag til onsdag, så reservedagen torsdag blev ikke benyttet. I det følgende gennemgås forsøget, hvorefter målinger af temperaturer, tryk, gasstrøm og gassammensætning præsenteres.

Brændsel: Brændslet var halmpiller, der var produceret specielt til dette forsøg. Hvedehalm var tørret, neddelat, tilsat et antislaggemiddel og pelleteret. Fugtindholdet var 10,9% og askeindholdet på tør basis var 10,9%, se også Tabel 7.2 og Figur 6.33 .

### 7.3.1 Mandag d. 22. oktober (opstart)

Opvarmningen af reaktoren blev påbegyndt mandag 22. oktober 2001, kl. 9.05.

Klokken 11.05 blev gasbrænderen, der opvarmer pyrolyserøret, tændt, og kl. 12.07 blev indføddningen af halmpiller startet.

Der blev indfyret 1,2 kg med en cyklus på 2 minutter, svarende til 36 kg/time eller omkring 160 kW, idet opstartsstrategien var at der skulle opbygges en koksbed i løbet af mandag, så koksbedden kunne være stabil tirsdag.

Kl. 12.30 blev indføddningsmængden justeret ned til 0,8 kg pr. cyklus, svarende til ca. 106 kW baseret på øvre brændværdi. Denne indføddningsmængde og cyklus blev holdt forsøget igennem.

Kl. 13.55 blev luftmængden justeret op fra 36 til 41 kg/time. Kl. 16.47 blev luftmængden justeret ned til 36 kg/time og igen kl. 17.52 blev luftmængden justeret ned til 33 kg/time.

Kl. 19.55 gik anlægget i nedlukning. Dette skyldes formentligt at der opstod en trykssvingning da risten kørte. Tyktabet over risten faldt fra 300 til ca. 20 mmVS. Reaktoren var igen i drift kl. 20.00.

Kl. 21.55 gik anlægget igen i nedlukning. Dette skyldes at forbindelsesslangen til trykregulatoren var blevet utæt og skulle skiftes. Anlægget kørte igen efter ca. 15 minutter.

### **7.3.2 Tirsdag d. 23. oktober**

I løbet af natten kørte anlægget stabilt. Lufttilsætningen blev justeret lidt op og ned. Kl. 4.47 blev lufttilsætningen sat til 36 kg/time hvilket blev holdt igennem resten af forsøget.

Om formiddagen forsøgte Insa Tech at måle bedhøjde vha. radar måling. Da skueglasset var for smalt i forhold til afstanden mellem sender og modtager kunne målingen ikke foretages.

Kl 10.34 blev det konstateret at de ene varmelegeme i dampoverhederen var gået i stykker.

Mellem kl. 16.30 og 17.50 blev der foretaget SPA tjæremålinger. Om aftenen blev der foretaget 2 partikelmålinger med kaskadeimpactor, se også rapport om målinger fra forsøget.

Kl. 20.55 gik forgasseren i nedlukning, hvilket skyldes at en reguleringsventil svigtede. Ca. kl. 22 blev anlægget startet op igen.

### **7.3.3 Onsdag d. 24. oktober**

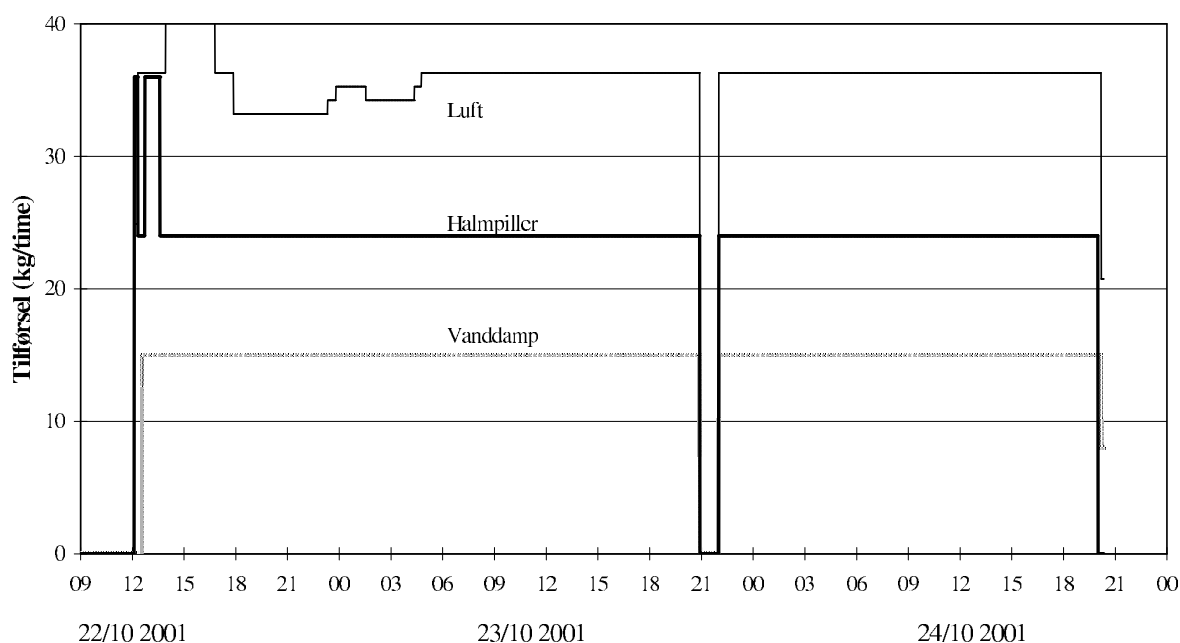
Om onsdagen d. 24. oktober målte Finn Pedersen fra Teknologisk Institut tjære, partikler, alkali og clor i gassen og der blev løbende lavet SPA målinger.

Kl. 20.00 blev de sidste piller født ind

Kl. 20.20 blev anlægget sat i nedlukning og der blev tilledt kvælstof under nedkøling af reaktoren.

## 7.4 Driftsforhold under forsøget

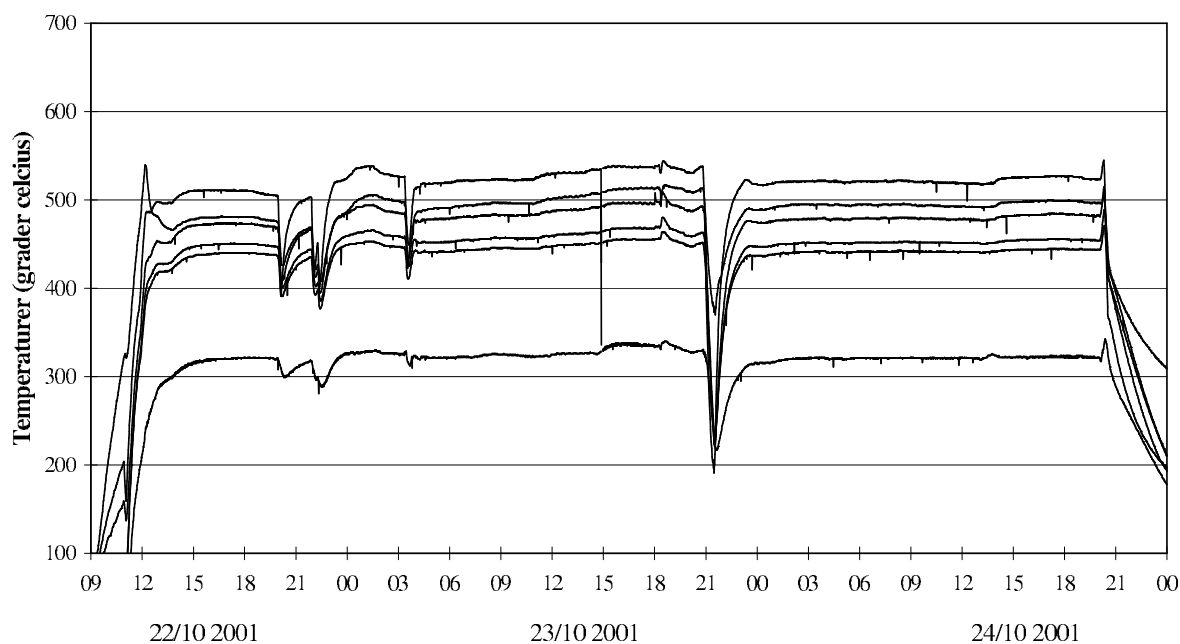
**Tilførsel af halmpiller, luft og damp til forgasser under forsøg**



*Figur 7.4 Tilførsel af luft, flis og vanddamp.*

På Figur 7.4 ses mængden piller, luft og damp der er tilført forgasseren i løbet af forsøget. Det ses at der har været en meget stabil tilførsel igennem de to måledage d. 23. og 24. oktober.

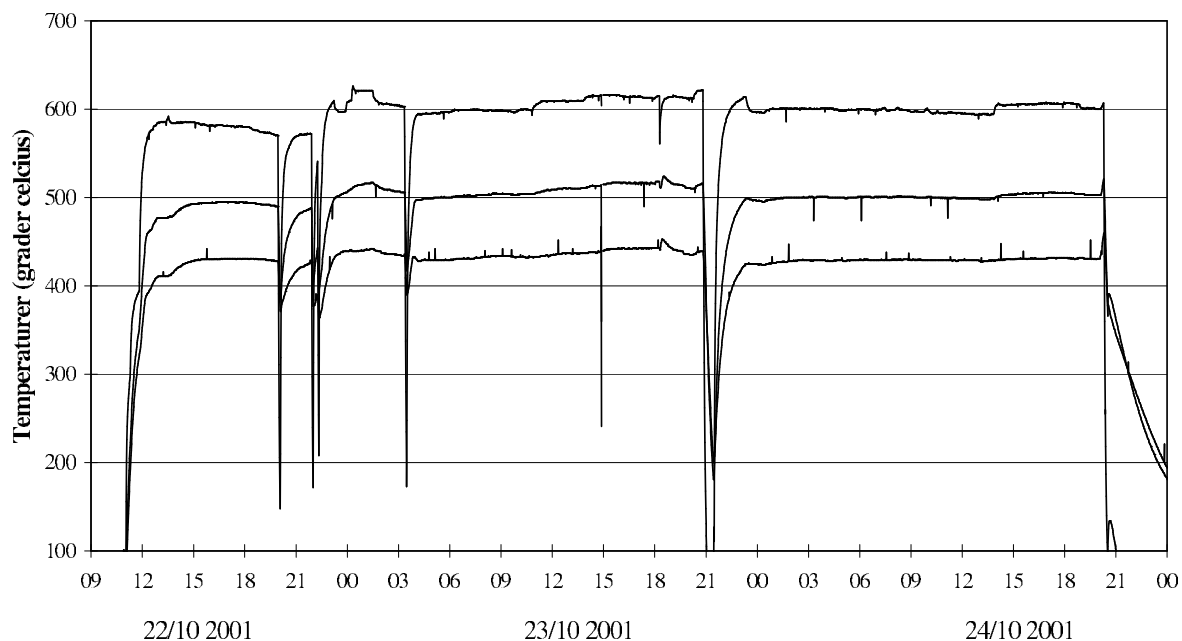
**Temperaturer i pyrolyseenheden**



*Figur 7.5 Temperaturer i pyrolyseenheden.*



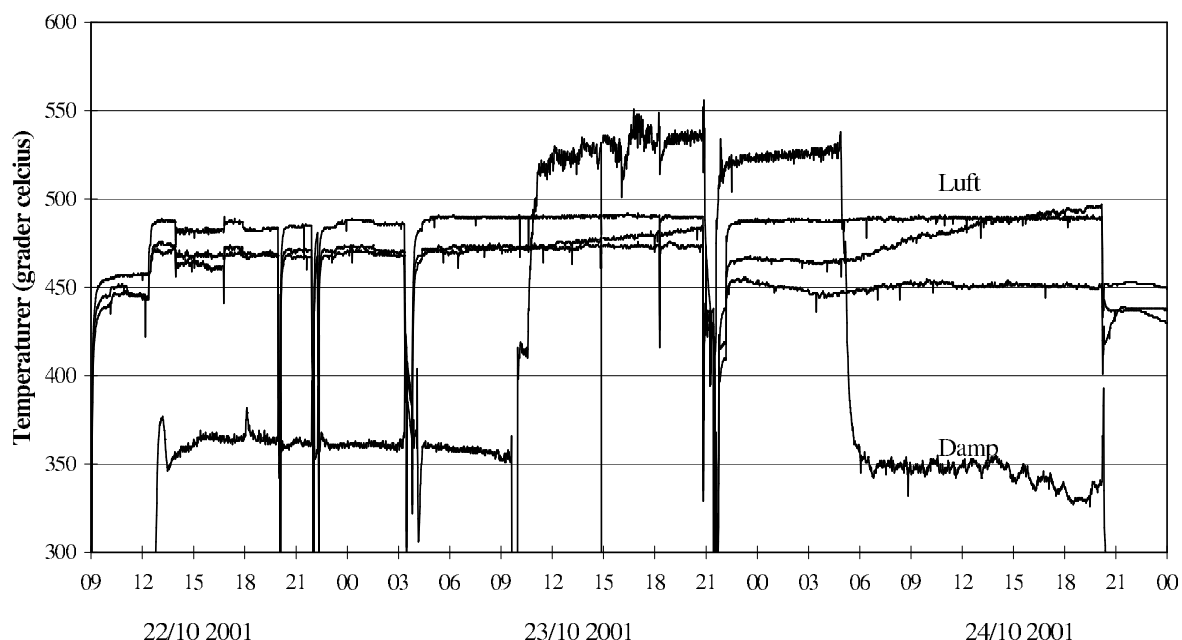
### Temperaturer af røggassen i pyrolyseenhedens røggaskanal



Figur 7.6 Temperaturer af røggassen i pyrolyseenhedens røggaskanal.

Det ses på Figur 7.5 og Figur 7.6, at temperaturerne i pyrolyserøret og i røggaskanalen omkring pyrolyseenheden har været meget stabile igennem forsøget.

### Temperaturer af damp og luft der tilsættes forgasseren

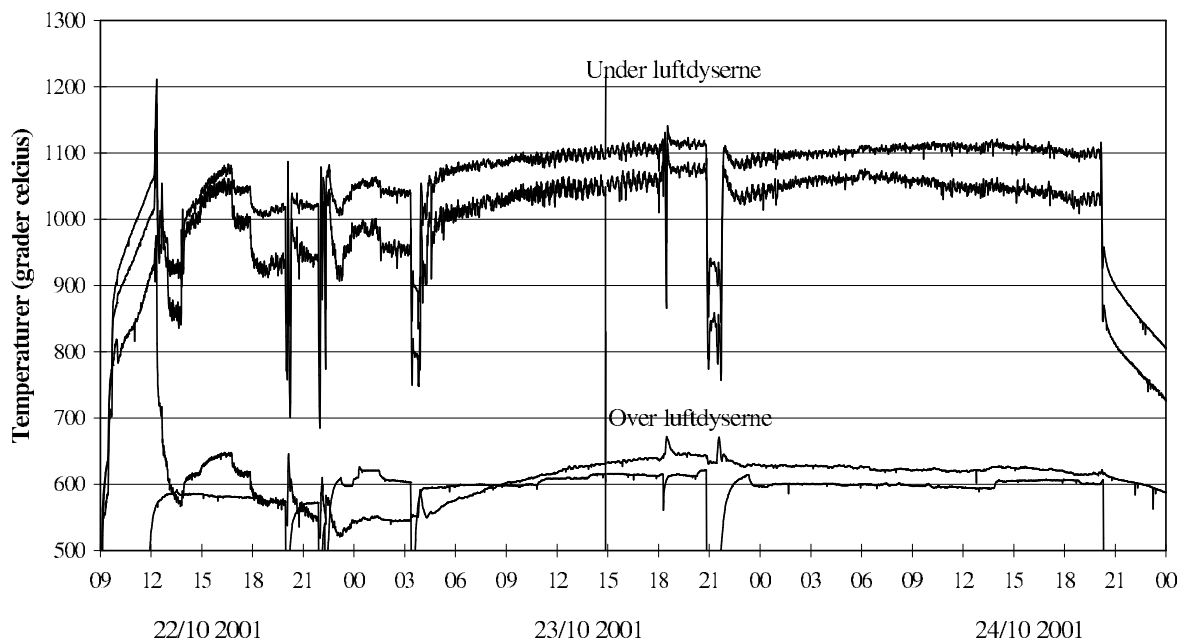


Figur 7.7 Temperaturer af damp og luft der tilsættes forgasseren

Det ses på Figur 7.7, at temperaturen af lufttilsætningen har været meget stabil igennem forsøget. Derimod svingede damptemperaturen. I starten af forsøget var damptemperaturen lav, hvilket skyldes at et varmelegeme i dampoverhederen var gået i stykker. D. 23/10 blev setpunktet for damptemperaturen justeret op hvorved damptemperaturen steg. D. 24/10 kl. 5.

faldt damptemperaturen yderligere, hvilket skyldes at endnu et varmelegeme i overhederen var gået i stykker.

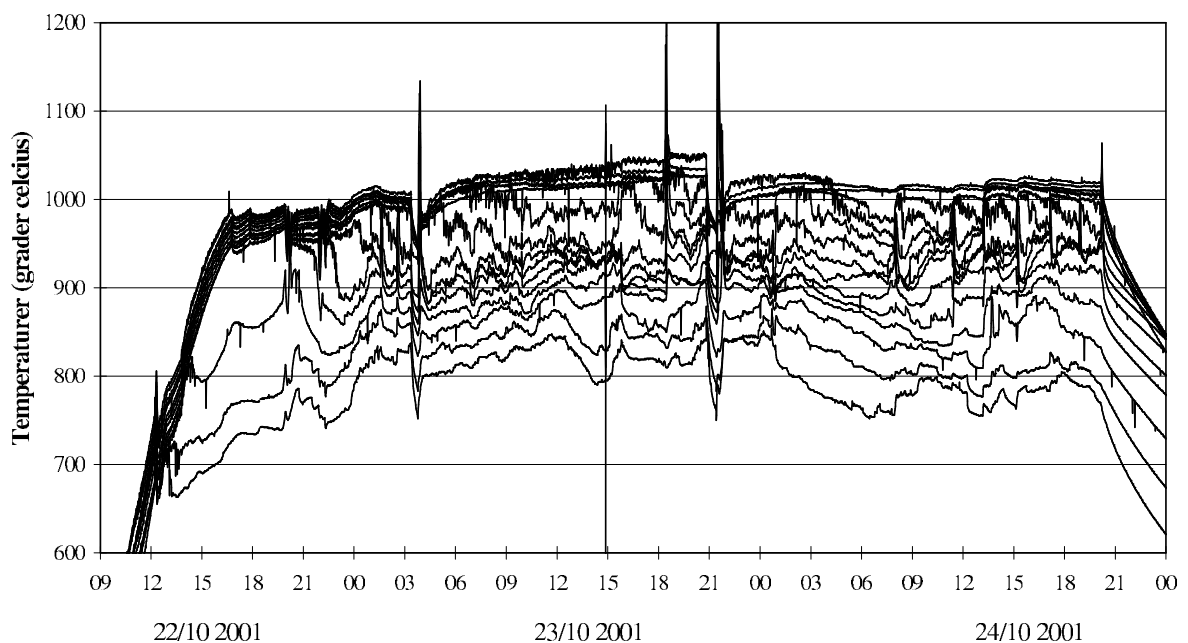
### Temperaturer i delvis afbrænding



Figur 7.8 Temperaturer i den delvise afbrændingszone.

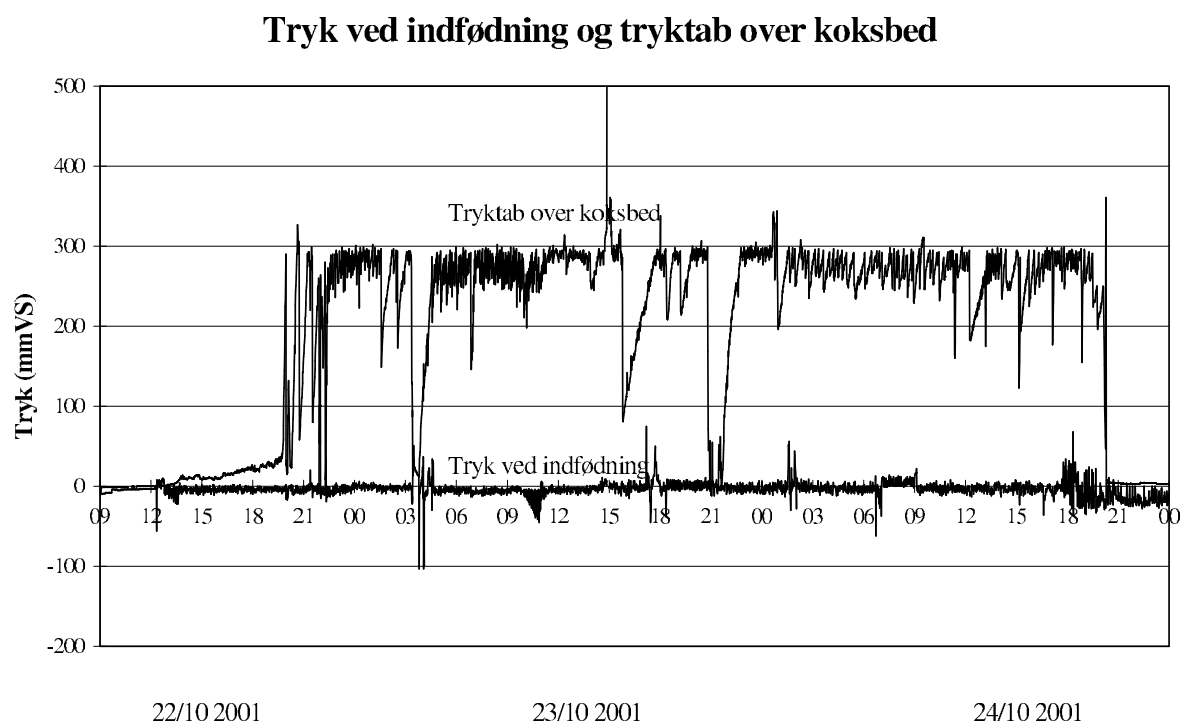
Det ses på Figur 7.8, at temperaturen i den delvise afbrændingszone (under luftdyserne) var lidt svingende under opstarten d. 22. oktober, men meget stabile under de to måledage d. 23 og 24. oktober.

### Temperaturer i koksreaktoren



Figur 7.9 Temperaturer i koksreaktoren.

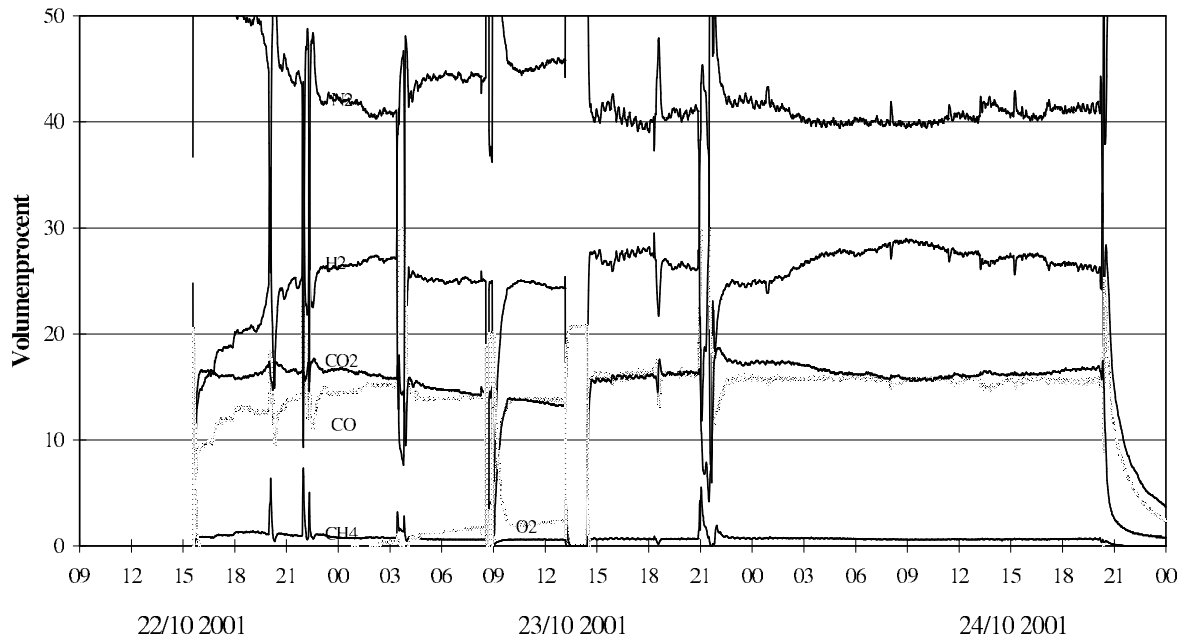
På Figur 7.9 ses temperaturerne i koksbedden under forsøget. Lufttilsætningen blev justeret under opstarten, således at temperaturen i bunden af bedden var ca. 800°C. Højden af koksbedden kan bestemmes ud fra temperaturkurverne: Temperaturerne der er 1000°C og derover, er målt i fribordet over koksbedden. Der er ca. 6 cm mellem hver temperaturføler. Det ses af figuren at højden af koksbedden ved reaktorkanten har været ca. 60-70 cm forsøget igennem.



*Figur 7.10 Tryk ved indfødning og tryktab over koksbedden.*

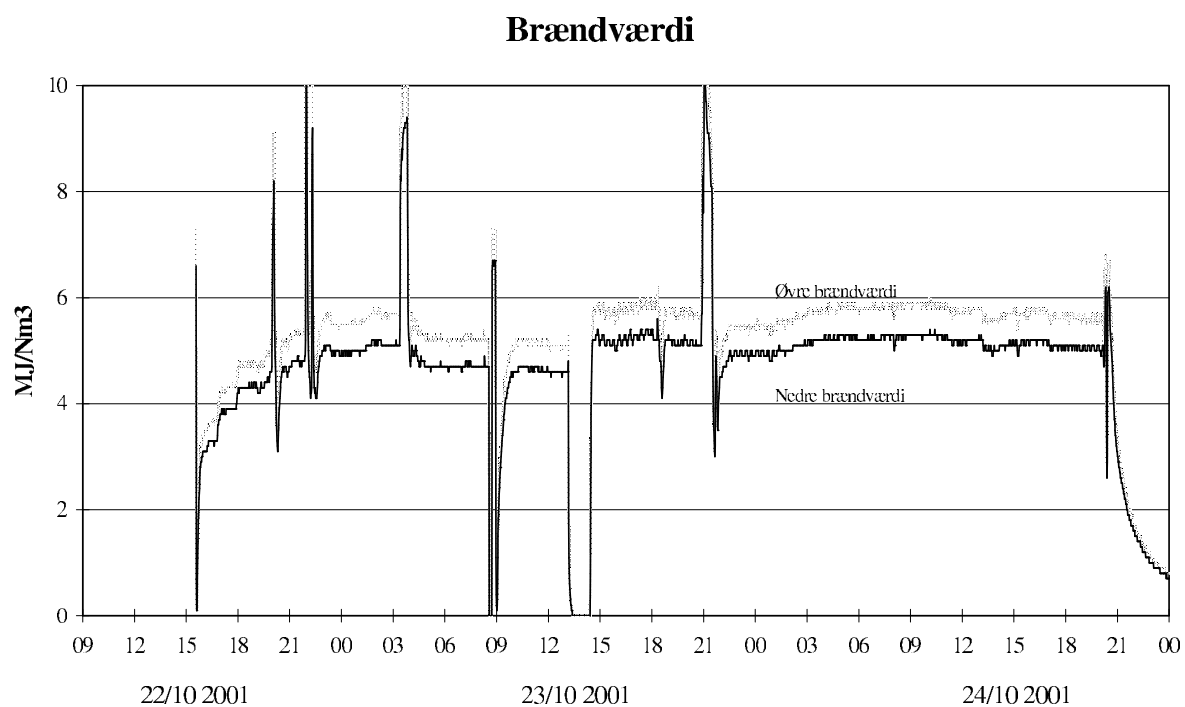
På Figur 7.10 ses trykkene i forgasningsreaktoren. I forhold til tidligere forsøg på træflis steg tryktabet hurtigt, og det var igennem hele forsøget nødvendigt at aktivere risten jævnlgt. Risten blev automatisk aktiveret når tryktabet over koksbedden var 300 mmVS.

## Gassammensætning



*Figur 7.11 Gassammensætning målt med DTU's gasanalyse.*

På Figur 7.11 ses gassammensætningen under forsøget målt med DTU's gasanalyse.  $N_2$  indholdet er beregnet som differens. Det ses, at der blev målt et lille ilt indhold i gassen frem til d. 23/10 kl.13. Dette har skyldtes at der blev suget falsk luft før analysatorerne, hvilket har resulteret i lidt for lave værdier af gaskomponenterne. Efter kl. 13 var målingen tæt og den reelle gassammensætning er målt.



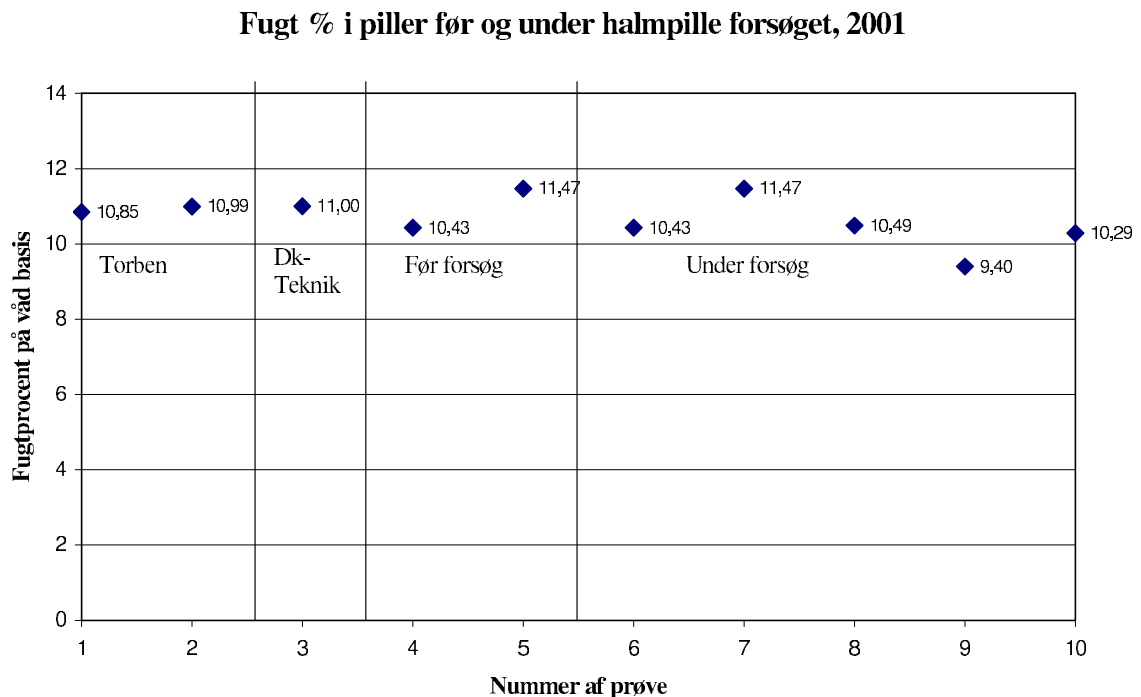
*Figur 7.12 Brændværdi af gassen.*

Det ses på Figur 7.12, at brændværdien af gassen er ganske stabil igennem forsøget. Det ses at brændværdien stiger d. 23/10 kl. 13-14, hvilket passer med at der blev suget falsk luft ind i analysatorene frem til dette tidspunkt.

## 7.5 Fugt- og askemålinger af halmpillerne

### Fugtindhold i halmpillerne

Fugtindholdet i halmpillerne blev målt på DTU og Dk-Teknik forud for forsøget og på DTU under forsøget. Fugtindholdet lå meget jævnt omkring 10-11% (våd basis).



Figur 7.13 Fugtprocenten af halmpillerne før og under forsøget. Målinger på våd basis.

Det ses på Figur 7.13, at fugtindholdet var ganske jævnt i halmpillerne.

### Askeindhold i halmpillerne

Askeindholdet i halmpillerne blev bestemt ved to udbrændingsforsøg på DTU.

Tabel 7.2 Udbrændingsforsøg på DTU

Tørrede piller	Aske	Askeprocent
45,68	4,98	10,90%
40,81	4,44	10,88%

Det ses af Tabel 7.2 at askeindholdet i pillerne var omkring 10,9 %

## 7.6 Foto's under forsøget

Herunder er samlet enkelte fotos fra forsøget (Figur 7.14 - Figur 7.19). Fotos vedrørende produktion af halmpillerne ses i kapitel 6 og fotos vedrørende tjære- og partikelmålinger ses i kapitel 8.



*Figur 7.14 Halmpiller i big-bag*



*Figur 7.15 Manuel indfødnig gennem lockhopper*



*Figur 7.16 Afvejning af halmpiller*



*Figur 7.17 Afvejning af halmpiller*



*Figur 7.18 Askeudmader og askebeholder*



*Figur 7.19 Fakkelt*

## 8 Resultater af målinger under forsøget

### 8.1 Partikelmålinger

Under forsøget blev der foretaget partikelmålinger af såvel DTU og Teknologisk Institut TI. Partiklerne blev udtaget fra den varme (630°C) gas ved brug af tre forskellige metoder, der alle udtog en isokinetisk delstrøm af gassen:

- Filtrering af delstrøm gennem varmt (400-500°C) kvartsuldsfilter (DTU). Der blev ikke foretaget yderligere opsamling efter afkøling af gassen.
- Filtrering af delstrøm gennem koldt (200°C) kvartsuldsfilter (TI)  
Delstrømmen blev opsamlet af glasudstyr, blev kølet gennem en ca. 1,5 m lang probe og opsamlet på et kvartsuldsfilter. Gassen blev herfra ledt videre til to vaskeflasker, hvor større mængder salte blev opsamlet sammen med tjæren.
- Kaskadeimpaktormåling af delstrøm med en Pilat Mark III (DTU).  
Delstrømmen blev udsat for køling gennem en 1,5 meter lang stålprobe til omkring 70°C, hvorefter det passerede kaskadeimpaktorens fem trin.

Formålet var at bestemme mængden af partikler samt disses kemiske sammensætning. Kaskadeimpaktoren skulle også bestemme partiklernes størrelsesfordeling.

Herudover blev partikelmængden i cyklonen bestemt løbende gennem forsøget.

#### 8.1.1 Partikelmængder og -størrelser

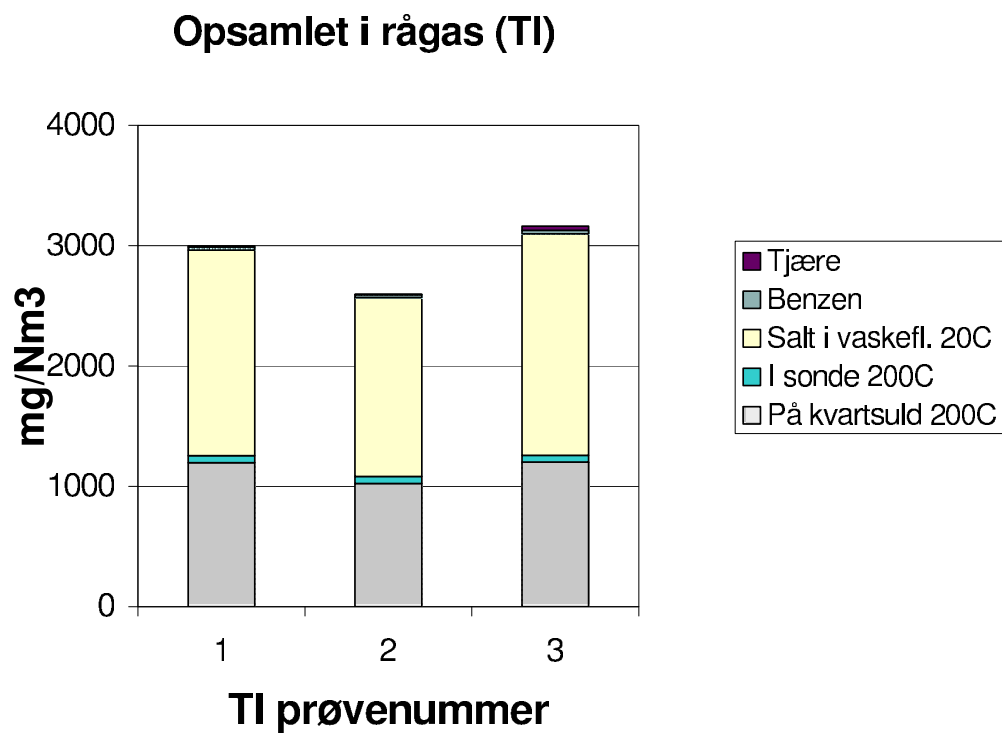
De varmeste målinger – DTUs kvartsuldsfiltre – gav de laveste værdier for partikelmængden. De lå nær 1000 mg/Nm<sup>3</sup>. En måling under automatisk aktivering af forgasningsreaktorens rist gav en dobbelt så høj værdi. De udtagne partikelprøver var hvide eller musegrå.

TI's målinger med kvartsuld ved 200°C gav tilsvarende værdier for partikelindholdet – mellem 1080 og 1260 mg/Nm<sup>3</sup>. Medtages de hvide, uorganiske salte, der blev opsamlet i de efterfølgende vaskeflasker, kommer tallet op mellem 2570 og 3100 mg/Nm<sup>3</sup>. Se *Figur 8.1*.

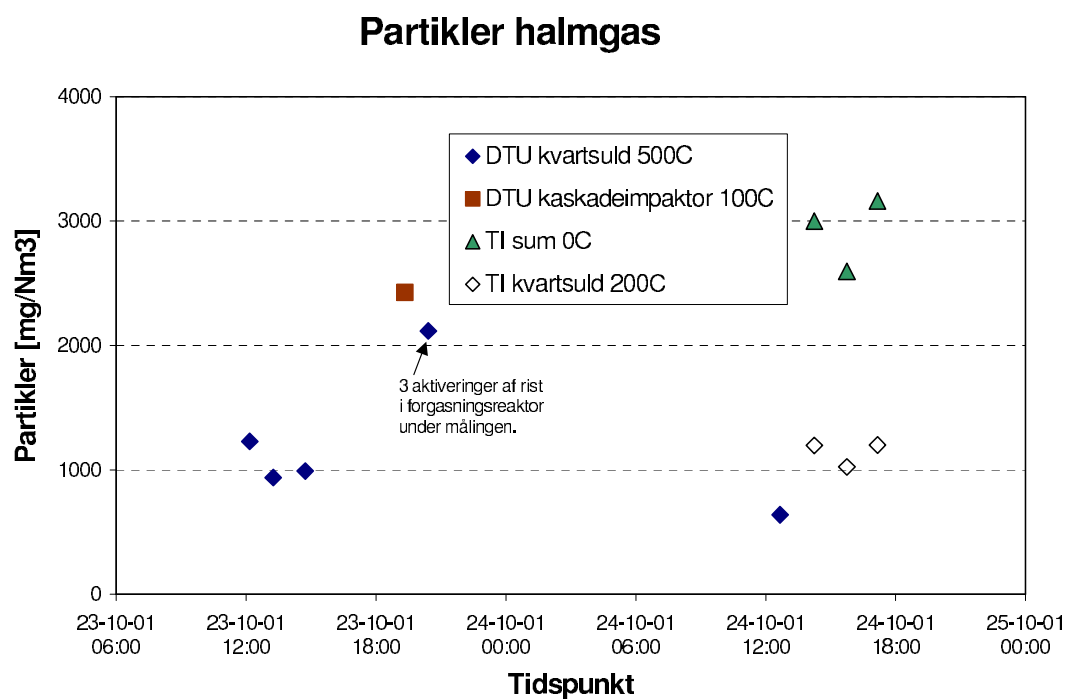
Kaskadeimpaktormålingen viste et samlet partikelindhold på 2430 mg/Nm<sup>3</sup>. Halvdelen af denne partikelmasse blev afsat på første trin. Dette trin opsamlede en betydelig mængde vanddråber, der ved tørring efterlod opløste salte på filtret. Dette gør at størrelsesfordelingen ikke kan udledes fra vejning af kaskadeimpaktorens filtre. Dog viste elektronmikroskopi (SEM) af partiklerne fra filtrene, at alle trin stort set udelukkende indeholdt næsten runde partikler med diametre omkring 0.5 µm.

Det tyder derfor på at partiklerne hovedsageligt består af hvide, vandopløselige salte, der muligvis fortættes efterhånden som gassen nedkøles. Det afsatte vandopløste salt i kaskadeimpaktoren og de store mængder salte i vaskeflaskerne tyder på, at en større del af saltene ikke var på fast form ved de temperaturer, hvor partiklerne er opsamlet. Ved de laveste temperaturer kan de være opløst i udkondenserede vanddråber.



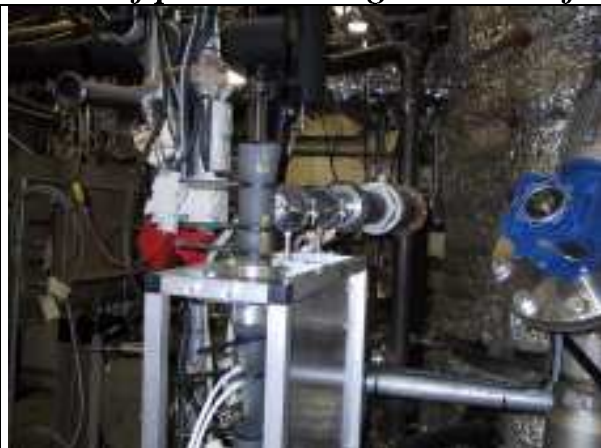


Figur 8.1 Partikelbestanddele ud fra TIs måleserie.



Figur 8.2. Oversigt over de målte partikelbelastninger. "TI sum 0C" medtager den saltmængde, der blev opsamlet i vaskeflaskerne.

*Foto's af partikelmålingerne lavet af Teknologisk Institut*



*Figur 8.3 Partikelmåleudstyr.*



*Figur 8.4. Isoleret partikelfilter.*



*Figur 8.5 Partikelfilter efter prøveudtagning.*



*Figur 8.6 Vaskeflasker efter prøveudtagning*

*Foto's af partikelmålingerne lavet af DTU*



*Figur 8.7 Prøveudtaget.*



*Figur 8.8 Sonde med kaskadeimpaktor.*



Figur 8.9. Kaskadeimpaktor



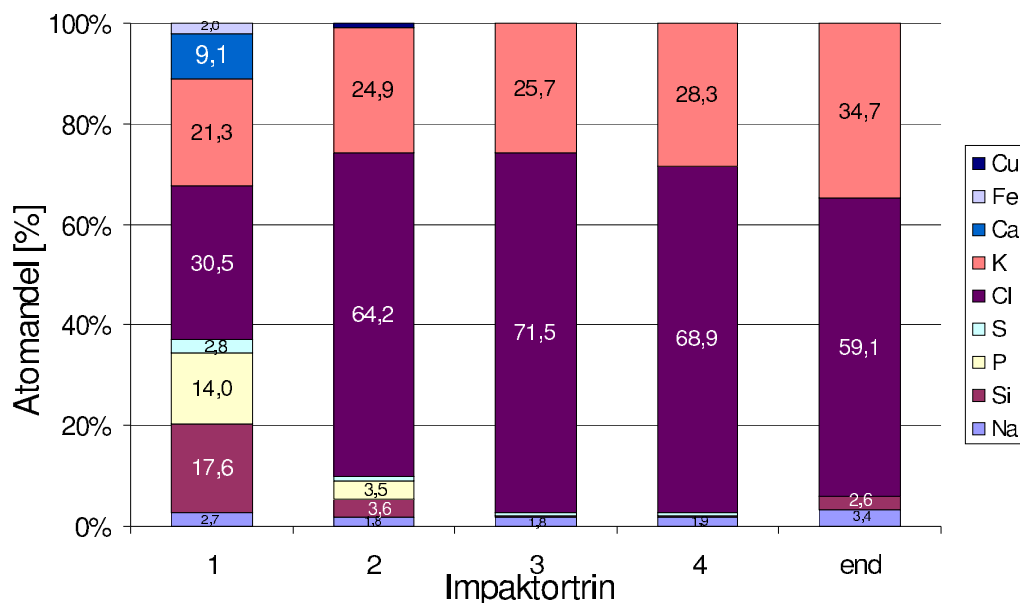
Figur 8.10 Folier i kaskadeimpaktor efter måling

### 8.1.2 Partikel bestanddele

Atomsammensætningen i partiklerne blev undersøgt ved EDX-analyse i skanne-tilstand af partiklerne fra kaskadeimpaktoren. I disse analyser er elementerne H, O, C og N ikke kvantificeret, da bestemmelsen af disse stoffer er meget usikker. Det samme gælder aluminium, som er det materiale, filtrene bestod af. Dog kan det nævnes at N blev detekteret, og dets indhold i prøven meget groft kunne anslås til at være af størrelsesordenen 10%. I de følgende analyser er H, O, C, N og Al udeladt, men der er taget højde for deres tilstedeværelse under ZAF-korrektionen.

Indholdet af klor var meget højt – ca. 70% på molbasis (se Figur 8.11). Kalium udgjorde omkring 26%. Resten bestod hovedsageligt af natrium, fosfor og silicium.

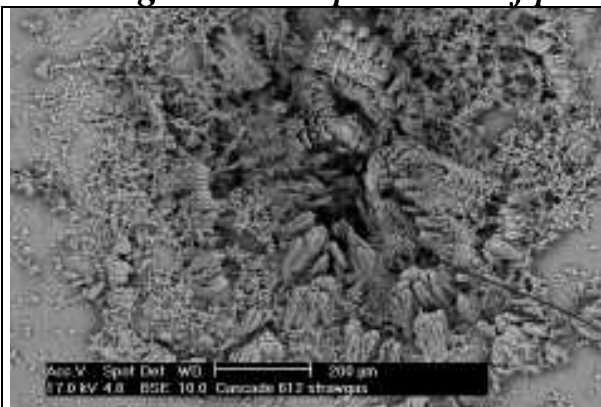
### Scanning EDX, halmgas



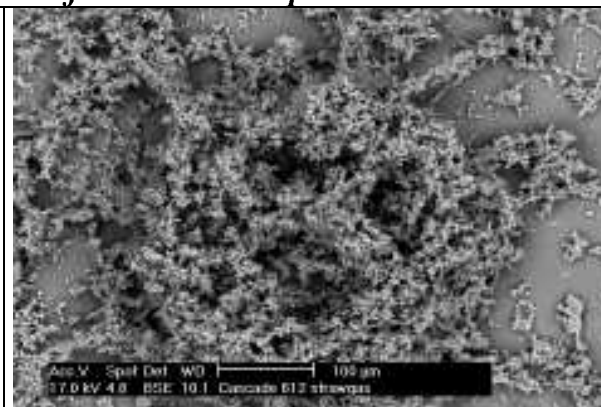
Figur 8.11: Resultat af EDX-skanninger af partikler fra kaskadeimpaktoren (elementerne N, O, C og Al er udeladt). Størrelsesseparationen var ikke perfekt, men de fysisk største partikler (ca.  $>1\mu\text{m}$ ) ligger på filter 1, mens resten havde en meget ens sammensætning.

Kloren sidder sandsynligvis bundet som kaliumklorid (KCl) og salmiak (ammoniumklorid,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Salmiak er et hvidt, vandopløseligt salt, der sublimerer ved  $340^\circ\text{C}$ . Dette bekræftes af, at partiklerne smager af salmiak. Den målte mængde kalium kan binde 37% af kloren som kaliumklorid. Hvis resten af kloren er bundet som ammoniumklorid, bliver masseforholdet mellem kaliumklorid og ammoniumklorid 9:11.

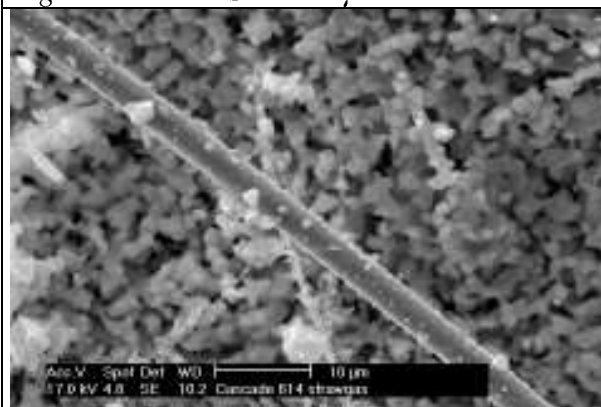
### *Scanning Elektroskop Billeder af partikler fra kaskadeimpaktoren*



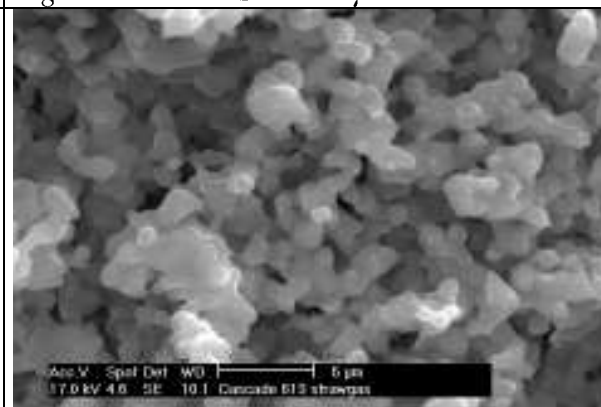
*Figur 8.12 Målestok 200 μm*



*Figur 8.13. Målestok 100 μm.*



*Figur 8.14 Målestok 10 μm*



*Figur 8.15 Målestok 5 μm*

Det ses på ovenstående figurer at de opsamlede partikler hovedsagligt består af krystaller (salte).

## 8.2 Tjæreindhold

Gassens tjæreindhold blev målt med to metoder

- SPA-metoden med ekstra stort gasvolumen for at øge sensitiviteten (opsamlet af DTU, analyseret af KTH).
- Petersen-kolonne med to isopropanol/vand-vaskeflasker (foretaget af TI).

SPA-metoden er en let og billig metode til opsamling af tjæreprøver fra gas til efterfølgende analyse med GC-MS. Metoden er udviklet af KTH til betydeligt højere tjærekoncentrationer end totrinsforgasningsgas indeholder. Derfor blev prøverne baseret på opsamling fra mellem 500-1000ml gas mod normalt 100ml. Trods dette blev der kun fundet målbare mængder af to stoffer: benzen og naphthalen i størrelsesordenerne hhv. 30 og 1 mg/Nm<sup>3</sup>.

TI opsamlede tjæreprøver i en todelt Peterson-kolonne med isopropanol/vand-vaskeflasker. Heri opsamledes 27-64 mg/Nm<sup>3</sup> organiske stoffer (opløselige i dichlormethan). Herudover opsamledes en større mængde salte. Da der blev opsamlet ca. 200 gange mere masse i første flaske i forhold til den anden, må de opsamlede stoffer være meget let opløselige i blandingen. GC-MS-analyse af disse stoffer stemte meget fint overens med resultaterne fra SPA-metoden: 24-31 mg/Nm<sup>3</sup> benzen og 1-2 mg/Nm<sup>3</sup> naphthalen. Dermed udgjorde benzen mellem 47% og 90%.

Det høje benzenindhold adskiller sig fra tidligere tilsvarende målinger på samme forgasser med forgasning af flis, hvor benzen stort set ikke blev detekteret (under 1% af tjæremassen) [Ref. 6]. Tidligere laboratorieforsøg med totrinsforgasning af halm har vist en tydelig sammenhæng mellem forgasningstemperatur og benzenindhold, hvor højere temperatur giver højere benzenindhold. Fra 500°C til 800°C 12-dobledes benzenindholdet [Ref. 9, figur 5.4].

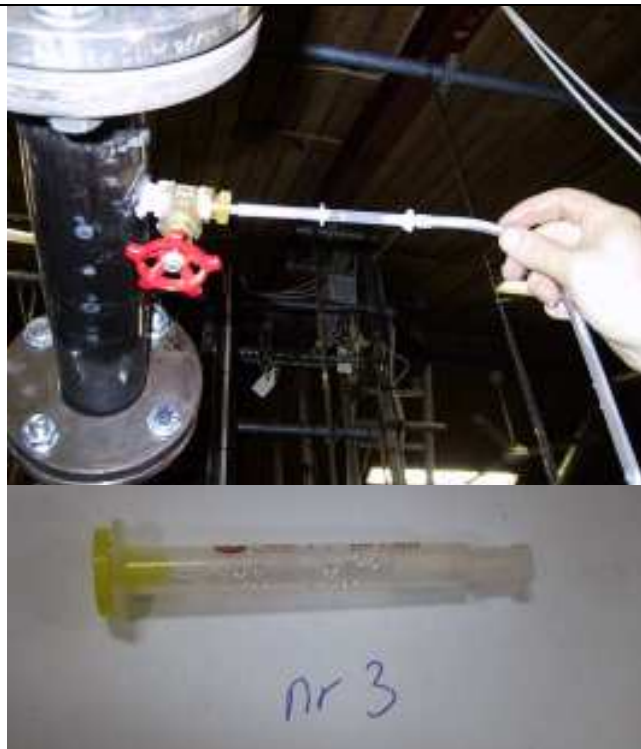
TI målinger			SPA-målinger		
Benzen	Naphthalen	Toluen	Benzen	Naphthalen	Toluen
26,7	1,2	0,9	26,3	0,4	>0
24,1	1	0,8	32,0	0,8	>0
30,5	2,3	1,1	34,8	0,2	>0
			-	0,8	>0
			32,4	1,0	>0
			31,6	1,3	>0
			33,9	1,2	>0
			27,8	1,5	>0
			43,4	1,2	>0
			41,4	0,7	>0
			37,6	1,2	>0
<b>Snit</b>	<b>27,1</b>	<b>1,5</b>	<b>34,1</b>	<b>0,9</b>	<b>&gt;0</b>

Tabel 8.1 Oversigt over samtlige tjæremålinger der blev foretaget under forsøget

### *Målinger at tjære under forsøget*



*Figur 8.16 TI's Petersen kolonne*



*Figur 8.17 DTU's SPA metode. To forskellige prober sad i serie så både phenoler, naftalen og benzen kunne måles.*

### 8.3 Analyse af askerne

Efter forsøget blev omsætningsgraden af halmpillerne bestemt ved udglødning af asken der blev taget ud gennem risten. Herudover er omsætningsgraden af cyklonasken blevet bestemt. Efter forsøget blev koksbedden tømt i etaper hvorefter omsætningsgraden af koksbedden er søgt bestemt.

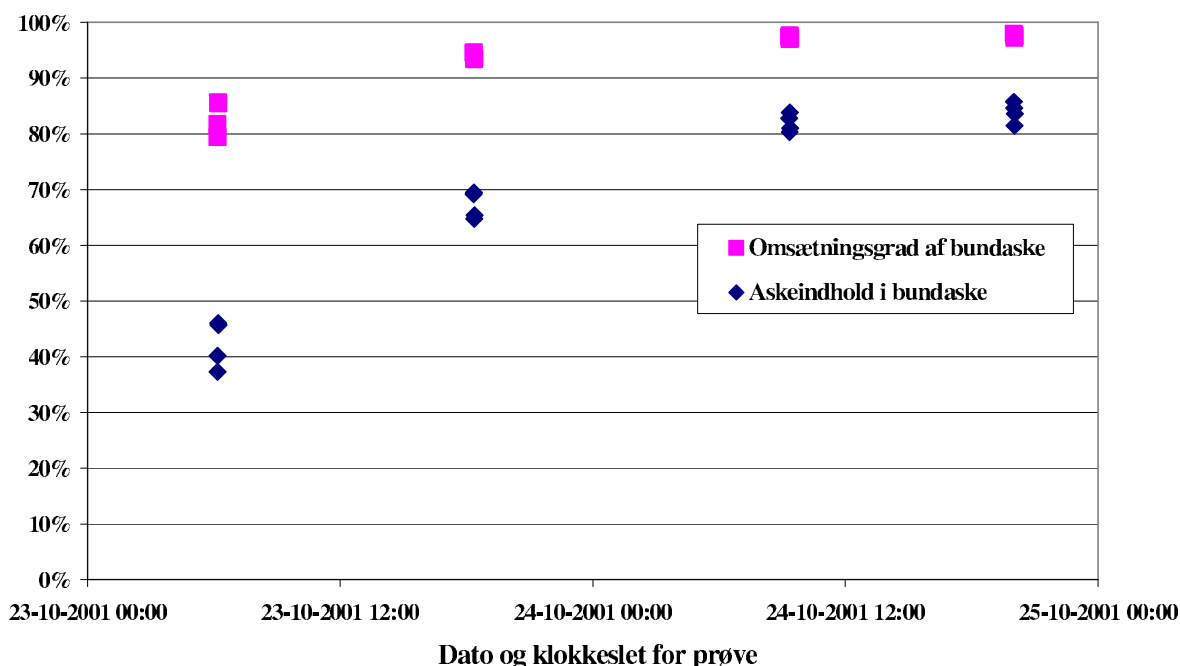
Endelig blev askernes grad af sintring vurderet.

#### 8.3.1 Omsætningsgrad af bundasken

Bundasken blev opsamlet i en 200 liter beholder. Denne beholder blev tømt et par gange om dagen. 4 prøver fra hver beholder blev udtaget til bestemmelse af askemængde og omsætningsgrad.

Tabel 8.2 Oversigt over askemængder og omsætningsgrad af bundaske

	Dato og klokkeslæt	Timer	Askemængde kg	Kg/time	Askeprocent	Omsætningsgrad
Beholder 1	23-10-01 06-10	18	17,6	2,3	42%	83%
Beholder 2	23-10-01 18-20	12	17,9	2,2	67%	94%
Beholder 3	24-10-01 09-20	15	26,1	2,1	82%	97%
Beholder 4	24-10-01 20-00	13	27,3	2,6	84%	98%
Sum			88,8			



Figur 8.18 Askeindhold og omsætningsgrad af bundasken igennem forsøget.

Der er forsøget igennem blevet indfyret 24 kg halmpiller/time, hvoraf ca. 2,3 kg/time var aske. Det ses på Tabel 8.2 og Figur 8.18, at der er løbende gennem forsøget er udtaget en mængde svarende til den tilførte askemængde. Det ses også, at andelen af aske af det der er udtaget stiger igennem forsøget til omkring 85% i slutning af forsøget.

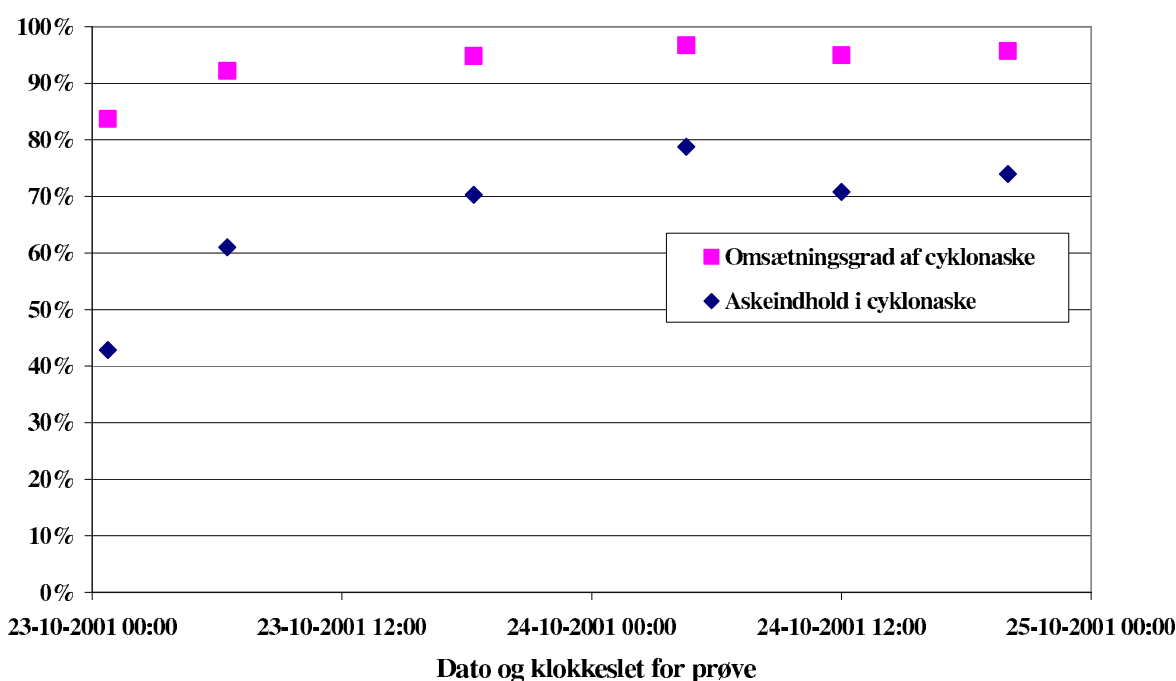


### 8.3.2 Omsætningsgrad af cyklonasken

Cyklonasken blev opsamlet i en beholder under cyklonen. Denne blev tømt 6 gange i løbet af forsøget.

Tabel 8.3 Oversigt over askemængder og omsætningsgrad af cyklonaske

Prøve	Dato og klokkeslæt	Vægt (g)	Askeprocent	Omsætningsgrad
Cyklon 1	23-10-01 00:45	1553	43%	84%
Cyklon 2	23-10-01 06:30	371	61%	92%
Cyklon 3	23-10-01 18:20	1130	70%	95%
Cyklon 4	24-10-01 04:33	992	79%	97%
Cyklon 5	24-10-01 12:00	64	71%	95%
Cyklon 6	24-10-01 20:00	11	74%	96%
Sum cyklon		4120		



Figur 8.19 Askeindhold og omsætningsgrad af cyklonasken igennem forsøget.

Det ses af Tabel 8.3 og Figur 8.19, at askemængden der blev opsamlet i cyklonen var beskeden og at omsætningsgraden var omkring 80% i starten af forsøget og at askeandelen steg til omkring 95% i midten til slutningen af forsøget.

### 8.3.3 Omsætningsgrad af koksbed

Koksbedden blev tømt d. 12. september 2002. Ved visuel inspektion fra toppen af reaktoren kunne det ses, at overfladen af bedden var ret flad.

#### Tømning af reaktor

Transportsneglen blev taget ud. I bunden lå en smule koks/aske (70 g). Koksbedden skulle tømmes i ca. 6-8 portioner således at et udbrændingsprofil kunne bestemmes. I flere omgange



blev risten aktiveret, bedhøjden noteret, bunden tømt og koksmængden vejat. Fra hver prøve blev repræsentativ prøve taget fra til bestemmelse af udbrændingsgrad.

Under tømning viste det sig at bedden ikke faldt jævnt sammen. Midten og den ene side faldt jævnt sammen, men en skal af aske stod i den ene side, og denne faldt først da den øvrige bed var kørt ud under risten. Denne søjle virkede kompakt, men var ikke agglomereret aske.

Tabel 8.4 Oversigt over askemængder og omsætningsgrad af koksbedden efter forsøget

Bedhøjde				Mængde (g)		Askeprocent	Udbrændingsgrad
Nr		Højde midt	Højde side	Total	heraf aske	%	%
1	Under rist	64	64	70	57	81,7%	97,3%
2	på rist	19	64	8.875	7.401	83,4%	97,6%
3		9	64	4.165	2.751	66,0%	93,7%
4		3	64	4.436	3.422	77,1%	96,4%
5		2	48	2.317	1.891	81,6%	97,2%
6		væltet kant	væltet kant	5.235	4.842	92,5%	99,0%
7		0	0	7.440	7.378	99,2%	99,9%
SUM				32.538	27.741		

Diameter bed: 48 cm  
Areal: 0,181 m<sup>2</sup>  
Bed volumen: 0,116 m<sup>3</sup>  
Densitet: 281 kg/m<sup>3</sup>.

#### 8.3.4 Askebalance over hele forsøget

På baggrund af data for askeindholdet i brændslet og målinger af koksbedden, bund- og cyklonaske og partikelmængderne kan askebalancen over hele forsøget opstilles:

Tabel 8.5 Oversigt over askebalancen under forsøget

##### Askebalance

Ind med halmpiller	129 kg
Ud med snegl	89 kg
I koksbed	28 kg
I cyklon	3 kg
Partikler i gas	2 kg
Difference	8 kg
	6%

#### 8.3.5 Sintringsanalyse af askerne

Askerne fra de prøver der blev udtaget igennem forsøget blev udglødet med henblik på bestemmelse af askeindhold og omsætningsgrad og efterfølgende blev askerne undersøgt for sintringsdannelse.

Hårdheden blev bestemt til 0-stjerner og lys-mikroskopi viste ingen tegn på sintring. Der blev således ikke fundet begyndende sintring i nogle af de udtagne prøver. Tilsætningen af det valgte additiv har været særdeles effektivt.

## 9 Konklusion

Forsøget med forgasning af halmpiller gik særdeles godt. Pillerne havde en mekanisk stabilitet der gjorde at forgasseren kørte stabilt hele forsøget igennem.

Det opbyggede asketransportsystem fungerede upåklageligt, og det var en stabil strøm af aske der blev fjernet fra reaktorens bund.

Hverken i askerne der var opsamlet eller i koksbedden blev der fundet aske der var sintret. Tilsætning af additivet har været særdeles effektiv. (Halmen uden additiv blev betegnet som meget sintrende)

Indholdet af faste partikler i gassen lå lige over  $1 \text{ g/Nm}^3$ . Yderligere  $1,5\text{-}2 \text{ g/Nm}^3$  salte kunne opsamles i vaskeflasker med vand/isopropanol. Saltene består sandsynligvis af lige store dele salmiak og kaliumklorid.

Tjæreindholdet i gassen var, som ved tidligere forsøg, ekstremt lavt, under  $3 \text{ mg/Nm}^3$ . Der var derudover ca.  $30 \text{ mg/Nm}^3$  benzen i gassen.

Under køling af gassen blev der dannet store mængder salte, især ammoniumklorid og kaliumklorid.

Omsætningsgraden af bundasken i forgasseren steg igennem forsøget fra omkring 80% og helt op til 98% i slutningen af forsøget.

## 10 Referencer

[Ref. 1] Straw gasification in a two-stage gasifier. Jens Dall Bentzen, Claus Hindsgaul, Ulrik Henriksen, Lasse Holst Sørensen, Proceedings in 12<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection 17-21 June 2002 in Amsterdam

[Ref. 2] Duration Test of "Standard Gasifier Fuel", SGF. Carsten Nielsen. dk-TEKNIK. Søborg, Denmark. Ulrik Henriksen. Department of Energy Engineering. DTU. EU Project: JOR3-CT95-0084. Danish Energy Agency: 51161/95-0050. 7 pages. January 1997.

[Ref. 3] Preliminary Testing of "Standard Gasifier Fuel", SGF. Carsten Nielsen. dk-TEKNIK. Søborg, Denmark. Ulrik Henriksen. Department of Energy Engineering. DTU. EU Project: JOR-CT95-0084. Danish Energy Agency: 51161/95-0050. 9 pages. January 1997.

[Ref. 4] 100 kW tottrinsforgasningsanlæg på DTU. Resultater til og med foråret 1998. Jens Dall Bentzen, Peter Brandt, Benny Gøbel, Claus Hindsgaul, Ulrik Henriksen. Department of Energy Engineering. DTU. ET-ES-98-11. 106 pages. 1998.

[Ref. 5] Quality Characteristics of Biofuel Pellets. Nikolaisen Lars. Teknologisk Institut. Danish Energy Agency, file no. 51161/00-0028. Eltra, PSO project no. 1996.

[Ref. 6] Bentzen, Jens Dall Bentzen, Peter Brandt, Claus Hindsgaul, Ulrik Henriksen. 1999 "Optimering af 100 kW Tottrinsforgasningsanlæg på DTU". Institut for Energiteknik, DTU. ET-ES 99-02.

[Ref. 7] An Evaluation of Char Reactivity and Ash Properties in Biomass Gasification Fundamental Processes in Biomass Gasification.

Lasse Holst Sørensen, Jan Fjellerup. ReaTech. Roskilde. Denmark.

Ulrik Henriksen. Department of Energy Engineering. DTU. Denmark.

Antero Moilanen, Esa Kurkela, VTT, Finland.

Erik Winther. Energi E2 A/S, Ballerup, Denmark.

ISBN 87-988105-0-2, ReaTech, Denmark, 2000, 90+23 pages.

Ref. 8] A Method for Reducing Agglomeration, Sintering and Deposit Formation in Gasification and Combustion of Biomass, PCT/DK00/00404 & WO 01/05911 A2. Sørensen L.H., Fjellerup J., Henriksen U. (2000).

[Ref. 9] P. A. Jensen, K. H. Jørgensen, E. Larsen: "Tjærenedbrydning i lavtemperatur forgassere til biomasse". Risø december 1996, Risø-R-957(DA).



# 11 Bilag

## 11.1 Bilag 1 Resultater fra TGA-forsøg

Tabel 11.1 TGA-forsøg med halm til 100 kW forgasser (Hvede 2000)

Filno.	Tilsat antislaggemiddel	TGA data (temperatur/ atmosfære)	Bemærkning	Omsæt- nings tid (min)	Reakti- vitet %/min	Sjær- ner (DTU) 0-4	Sjærner (Reatech) 0-4
Indledende undersøgelser af 5 g piller på DTU							
576	3% kalk; 10% melasse	850 C, 100% H2O	Kalk-sukkerblanding nr. 4,7,3,9 fra Lasse Holst, hvori der er 10% CaO; 35% melasse, 55% vand. 3 gram blanding; 10g halm	17,0		3	3*
	2% kalk; 7% melasse					3	
	1% kalk; 3,5% melasse					3	
577	Uden antislaggemiddel.	850 C, 100% H2O		13,0			3*
578	CAP 1.0	850 C, 100% H2O	CAP formel: Syreblanding og Kalk-sukkerblanding blandes i forholdet 5:1.  Syreblanding: 94,95 ml H2O, 10 ml H3PO4 (85%), 5,41 g CaCO3. Kalk-sukkerblanding: 10% CaO; 35% melasse, 55% vand (massebase).  CAP 1: forhold halm:syreblanding 1 CAP 1,5: forhold halm:syreblanding 1,5 CAP 0,6: forhold halm:syreblanding 0,6	15,0		0	1*
579	CAP 1,5	850 C, 100% H2O		43 (8)		0	0*
580	CAP 0,6	850 C, 100% H2O		15		0-1	1-2*
581	CAP 1,0	850 C, 85% H2O, 15% CO2		43 (8)		0	1-2*
582	CAP 1,5	850 C, 85% H2O, 15% CO2		50 (2)		0	0*
583	CAP 0,6	850 C, 85% H2O, 15% CO2		29		0,5-1	1*
Piller fra Jylland til 100 kW forsøg							
589	Se afsnit 6.4	850 C, 100% H2O	Agglomereringsforsøg (1 pille)	33		0	
590	”Produktion af halmpiller på Bioteknologisk Institut”	950 C, 100% H2O	Agglomereringsforsøg (1 pille)	Meget hurtig		0	
597		900 C, 100% H2O	Reativitetsforsøg		9,6		
598		750 C, 100% H2O	Reativitetsforsøg		1,0		
599		800 C, 100% H2O	Reativitetsforsøg		2,5		
611		850 C, 100% H2O	Reativitetsforsøg		4,1	0	

*Tabel 11.2 TGA-forsøg med brændselpiller fra projektet Quality Characteristics of Biofuel Pellets [Ref. 5.] Forgasning er foregået i makro TGA ved 850° C i 100% vanddamp*

Prøve nr.	Fil nr.	Sintring (stjerner 0-4)	Reaktivitet (25-75 % omsætning) % pr. min.	Reaktivitet (40-60 % omsætning) % pr. min.	Omsætningstid min.
R1	601	4	6,32	6,14	42
R2	602	3	5,08	5,15	65
R3	603	3-4	7,06	6,76	39
R4	604	0	10,08	9,95	29
R5	608	0	10,83	12,88	26
R6	605	0	16,16	15,56	18
R7	606	0-1	12,48	12,17	21
R8	607	0-1	15,44	15,44	22
R9	609	0,5	17,93	22,01	13
R10	610	0,5	18,62	15,26	15
R11	614	0-0,5	8,17	9,67	35,0
R12	615	3,0	11,22	10,41	25

Forgasning i makro TGA ved 850° C i 100% vanddamp

## **11.2 Bilag 2 Brændselsdata for halmen**

**Provemærkning**

Halm 1

Halm 2

**Proveemballage****Resultater – angivet i vægt-%**

Element	Halm 1	Halm 2
SiO <sub>2</sub>	55,0	36,6
K <sub>2</sub> O	20,6	15,1
CaO	6,9	13,1
Cl	5,5	0,4
SO <sub>3</sub>	4,2	2,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,5	28,6
MgO	2,1	1,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7	0,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6	0,4
F	0,21	-
BaO	0,08	0,06
MnO	0,07	0,05
TiO	0,06	0,11
SrO	0,03	0,03
ZnO	0,02	0,02

*Natrium-oxid*      0,4      1,4

**Analysemetode**

Elementanalyse ved brug af Philips bølgedispersive røntgenspektrometer  
PW2400/UNIQUANT ver. 4.38

Askerne er presset til tabletter og analyseret direkte. Prøve 2 måtte tilsættes  
hjælpemiddel for at holde tabletten sammen.



# PRØVNINGSRAPPORT

over akkrediteret teknisk prøvning i henhold til  
 Dansk Akkreditering nr. 51 og på omstændende vilkår.  
 Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.



Side 2 af 2

COWI  
 Att.: Jens Dail Bentzen  
 Parallevej 15  
 2800 Lyngby

COWI		Service
Modtager		
Dato	Indgivet	Kunde
05 DEC 2000		
Elevanter		
Indtækt		

Journal nr : 401807  
 Medlem / sag nr :  
 Rekv. nr. :  
 Prøve modtaget : 2000.11.27  
 Prøvningstermin : 2000.11.27-2000.12.04  
 Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

dk-TEKNIK  
*Susanne Westborg*  
 Susanne Westborg

2000.12.04

## Undersøgelse af fast brændsel

Prøve af Halm

Mærket Gl. Ålborg (tidl. dk-J. nr. 401778)

Prøvens størrelse 941,2 g

Emballage Tæt plast pose

Analyse af brændslet		Basis:	Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand, totalt	dk-TEKNIK/PVA Vejlb. blad		-	* 17,7 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550 °C		///	/// %
Flygtige bestanddele	ISO 562		///	/// %
Svovl S	ASTM D3177B, Mod.		///	/// %
Hydrogen H			///	/// %
Carbon C			///	/// %
Nitrogen N			///	/// %
Chlor Cl	PVA 411.2		0,63 %	0,52 %

## Brændslets fysiske egenskaber

Øvre brændværdi	ISO 1928, på indleveret prøve	///	kcal/kg~	///	MJ/kg
Effektiv brændværdi,	bereg. på indleveret prøve	///	kcal/kg~	///	MJ/kg
Effektiv brændværdi,	bereg. på vand- og askefri prøve	///	kcal/kg~	///	MJ/kg

Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	reducerende atm.	oxiderende atm.
	Blødgørings temperatur (IDT)		///	°C
	Halvkugle temperatur (HT)		///	°C
	Flyde temperatur (FT)		///	°C

Bemærkninger:

\* Tidligere analyseret på dk-j. nr. 401778

/// : ikke analyseret parameter.

Prøverapporten må kun gengives i uddrag, hvis dk-TEKNIK forud har godkendt uddraget.  
 Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de analyserede prøver



**STANDARDILAG**  
**FASTE BIOBRÆNDSLER**  
**Usikkerhed for anvendte metoder**

Parameter	Metode	Repetérbarhedsgrænse, r	Reproducerbarhedsgrænse, R
Vand, totalt	dk-TEKNIK/PVA Vejledningsblad	<10 % vand: 0,5 % w/w ≥10 % vand: 5 % af gn.snit	Kan ikke angives *
Vand, analyseprøve	dk-TEKNIK/PVA Vejledningsblad	0,2 % w/w	Kan ikke angives *
Aske	ISO 1171:1997 Mod. til 550°C	0,2 % w/w	0,4 % w/w
Svovl, totalt	ASTM D3177B-89 (mod. med sulfat- analyse jvf DS286)	0,05 % w/w	0,10 % w/w
Flygtige bestanddele	ISO 562:1998	3 % af gn.snit	4 % af gn.snit
Carbon	ISO/CD12902:1996	0,6 % w/w	1,5 % w/w
Hydrogen	ISO/CD12902:1996	0,15 % w/w	0,3 % w/w
Nitrogen	ISO/CD12902:1996	0,05 % w/w	0,1 % w/w
Chlor	PVA 411.2:1993	10 % af gn.snit eller 0,005 % w/w	20 % af gn.snit eller 0,02 % w/w
Chlorid	dk-TEKNIK (LA-5-14-03)	10 % af gn.snit eller 0,005 % w/w	20 % af gn.snit eller 0,02 % w/w
Brændværdi	ISO 1928:1995	120 J/g	300 J/g
Askens smelteforløb	ISO 540:1995 (mod. til 550°C aske)	30 °C	Kan ikke angives *

\* Kan ikke angives, da der ikke foreligger tilstrækkelig dokumentation.

% w/w:

Vægtprocent

Repetérbarhedsgrænse, r:

Angiver den maksimale afvigelse ved en dobbeltbestemmelse udført af den samme person med samme udstyr på den samme prøve indenfor et kort tidsrum.

Reproducerbarhedsgrænse, R:

Angiver den maksimale afvigelse for gennemsnittet af dobbeltbestemmelser foretaget på to forskellige laboratorier på repræsentative delprøver af den samme prøve.

**PRØVNINGSRAPPORT**

over akkrediteret teknisk prøvning i henhold til  
Dansk Akkreditering nr. 51 og på omstående vilkår.  
Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.



Side 2 af 2

COWI  
Att.: Jens Dall Bentzen  
Parallelvej 15  
2800 Lyngby

Journal nr : 401808  
Medlem / sag nr. :  
Rekv. nr. :  
Prøve modtaget : 2000.11.27  
Prøvningstermin : 2000.11.27-2000.12.04  
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

**dk-TEKNIK**

2000.12.04

*Susanne Westborg*  
Susanne Westborg

Undersøgelse af fast brændsel					
Prøve af Halm					
Mærket Thor 1 (tidl. dk-J. nr. 401779)					
Prøvens størrelse 984,6 g					
Emballage Tæt plast pose					
Analyse af brændslet		Basis:	Vandfri prøve		Indleveret prøve
Vand, totalt	dk-TEKNIK/PVA Vejlb. blad		-		* 19,2 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550 °C		//		// %
Flygtige bestanddele	ISO 562		//		// %
Svovl S	ASTM D3177B, Mod.		//		// %
Hydrogen H			//		// %
Carbon C			//		// %
Nitrogen N			//		// %
Chlor Cl	PVA 411.2		0,59 %		0,47 %
Brændslets fysiske egenskaber					
Øvre brændværdi	ISO 1928, på indleveret prøve		// kcal/kg~	//	MJ/kg
Effektiv brændværdi,	bereg. på indleveret prøve		// kcal/kg~	//	MJ/kg
Effektiv brændværdi,	bereg. på vand- og askefri prøve		// kcal/kg~	//	MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	reducerende atm.	oxiderende atm	
	Blødgørings temperatur (IDT)			//	°C
	Halvkugle temperatur (HT)			//	°C
	Flyde temperatur (FT)			//	°C
Bemærkninger:					
* Tidligere analyseret på dk-J. nr. 401779					
// : ikke analyseret parameter.					

Prøverapporten må kun gengives i uddrag, hvis dk-TEKNIK forud har godkendt uddraget.  
Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de analyserede prøver



**STANDBILAG**  
**FASTE BIOBRÆNDSLER**  
**Usikkerhed for anvendte metoder**

Parameter	Metode	Repeterbarhedsgrænse, r	Reproducerbarhedsgrænse, R
Vand, totalt	dk-TEKNIK/PVA Vejledningsblad	<10 % vand: 0,5 % w/w ≥10 % vand: 5 % af gn.snit	Kan ikke angives *
Vand, analyseprøve	dk-TEKNIK/PVA Vejledningsblad	0,2 % w/w	Kan ikke angives *
Aske	ISO 1171:1997 Mod. til 550°C	0,2 % w/w	0,4 % w/w
Svovl, totalt	ASTM D3177B-89 (mod. med sulfat- analyse jvf DS286)	0,05 % w/w	0,10 % w/w
Flygtige bestanddele	ISO 562:1998	3 % af gn.snit	4 % af gn.snit
Carbon	ISO/CD12902:1996	0,6 % w/w	1,5 % w/w
Hydrogen	ISO/CD12902:1996	0,15 % w/w	0,3 % w/w
Nitrogen	ISO/CD12902:1996	0,05 % w/w	0,1 % w/w
Chlor	PVA 411.2:1993	10 % af gn.snit eller 0,005 % w/w	20 % af gn.snit eller 0,02 % w/w
Chlorid	dk-TEKNIK (LA-5-14-03)	10 % af gn.snit eller 0,005 % w/w	20 % af gn.snit eller 0,02 % w/w
Braendværdi	ISO 1928:1995	120 J/g	300 J/g
Askens smelteforløb	ISO 540:1995 (mod. til 550°C aske)	30 °C	Kan ikke angives *

\* Kan ikke angives, da der ikke foreligger tilstrækkelig dokumentation.

% w/w:

Vægtprocent

Repeterbarhedsgrænse, r:

Angiver den maksimale afvigelse ved en dobbeltbestemmelse udført af den samme person med samme udstyr på den samme prøve indenfor et kort tidsrum.

Reproducerbarhedsgrænse, R:

Angiver den maksimale afvigelse for gennemsnittet af dobbeltbestemmelser foretaget på to forskellige laboratorier på repræsentative delprøver af den samme prøve.



over akkrediteret teknisk prøvning i henhold til Dansk Akkreditering nr. 51 og på omstændende vilkår. Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.



Journal nr	:	401809
Medlem / sag nr.	:	
Rekv. nr.	:	
Prøve modtaget	:	2000.11.27
Prøvningstermin	:	2000.11.27-2000.12.04
Udarbejdet af	:	Henning Munk Jensen

dk-TEKNIK  
Susanne Westborg

2000.12.04

COWI  
Att.: Jens Dall Bentzen  
Parallelvej 15  
2800 Lyngby

<b>Undersøgelse af fast brændsel</b>									
Prøve af Halm									
Mærket Thor 1 (tidl. dk-J. nr. 401780)									
Prøvens størrelse 763,8 g					Emballage Tæt plast pose				
<b>Analyse af brændslet</b>			<b>Basis:</b>		<b>Vandfri prøve</b>		<b>Indleveret prøve</b>		
Vand, totalt			dk-TEKNIK/PVA Vejlb. blad		-		* 18,8 %		
Aske			ISO 1171, mod. til 550 °C		//		// %		
Flygtige bestanddele			ISO 562		//		// %		
Svovl S			ASTM D3177B, Mod.		//		// %		
Hydrogen H					//		// %		
Carbon C					//		// %		
Nitrogen N					//		// %		
Chlor Cl			PVA 411.2		0,55 %		0,44 %		
<b>Brændslets fysiske egenskaber</b>									
Øvre brændværdi			ISO 1928, på indleveret prøve			// kcal/kg~		// MJ/kg~	
Effektiv brændværdi			bereg. på indleveret prøve			// kcal/kg~		// MJ/kg~	
Effektiv brændværdi			bereg. på vand- og askefri prøve			// kcal/kg~		// MJ/kg~	
Askens smelteforløb			ISO 540, mod. til 550°C aske		Bestemt i:		reducerende atm.		oxiderende atm.
			Blødgørings temperatur (IDT)				//		°C
			Halvkugle temperatur (HT)				//		°C
			Flyde temperatur (FT)				//		°C
Bemærkninger:									
* Tidligere analyseret på dk-j. nr. 401780									
// : ikke analyseret parameter.									
Prøverapporten må kun gengives i uddrag, hvis dk-TEKNIK forud har godkendt uddraget.									
Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de analyserede prøver.									



**STANDBILAG**  
**FASTE BIOBRÆNDSLER**  
**Usikkerhed for anvendte metoder**

Parameter	Metode	Repetierbarhedsgrænse, r	Reproducerbarhedsgrænse, R
Vand, totalt	dk-TEKNIK/PVA Vejledningsblad	<10 % vand: 0,5 % w/w ≥10 % vand: 5 % af gn.snit	Kan ikke angives *
Vand, analyseprøve	dk-TEKNIK/PVA Vejledningsblad	0,2 % w/w	Kan ikke angives *
Aske	ISO 1171:1997 Mod. til 550°C	0,2 % w/w	0,4 % w/w
Svovl, totalt	ASTM D3177B-89 (mod. med sulfat- analyse jvf DS286)	0,05 % w/w	0,10 % w/w
Flygtige bestanddele	ISO 562:1998	3 % af gn.snit	4 % af gn.snit
Carbon	ISO/CD12902:1996	0,6 % w/w	1,5 % w/w
Hydrogen	ISO/CD12902:1996	0,15 % w/w	0,3 % w/w
Nitrogen	ISO/CD12902:1996	0,05 % w/w	0,1 % w/w
Chlor	PVA 411.2:1993	10 % af gn.snit eller 0,005 % w/w	20 % af gn.snit eller 0,02 % w/w
Chlorid	dk-TEKNIK (LA-5-14-03)	10 % af gn.snit eller 0,005 % w/w	20 % af gn.snit eller 0,02 % w/w
Brændværdi	ISO 1928:1995	120 J/g	300 J/g
Askens smelteforløb	ISO 540:1995 (mod. til 550°C aske)	30 °C	Kan ikke angives *

\* Kan ikke angives, da der ikke foreligger tilstrækkelig dokumentation.

% w/w:                      Vægtprocent

Repetierbarhedsgrænse, r:      Angiver den maksimale afvigelse ved en dobbeltbestemmelse udført af den samme person med samme udstyr på den samme prøve indenfor et kort tidsrum.

Reproducerbarhedsgrænse, R:      Angiver den maksimale afvigelse for gennemsnittet af dobbeltbestemmelser foretaget på to forskellige laboratorier på repræsentative delprøver af den samme prøve.